

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže



Zkoušky životnosti vyměnitelných břitových destiček

Tool-life Tests of Inserts

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Vojtěch Černák
Ing. Robert Čep Ph.D

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20.5.2009

.....
Vojtěch Černák

Prohlašuji,že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí,že Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě 20.5.2009

.....
Bc. Vojtěch Černák
Malá 1164
Ostrava - Polanka
725 25

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Černák, Vojtěch. *Zkoušky životnosti vyměnitelných břitových destiček*. Ostrava: katedra obrábění a montáže. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, diplomová práce, vedoucí: Ing. Robert Čep, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá zkouškou řezivosti vyměnitelných břitových destiček. V teoretické části je vytvořen přehled možných zkoušek k určování řezivosti. Další část se zabývá výběrem vhodné metody, vhodného obráběného materiálu a obráběcího stroje. Bylo vybráno jedenáct druhů vyměnitelných břitových destiček od různých výrobců, různé geometrie a různých materiálů. Po provedení zkoušky, byly provedeny potřebné výpočty pro porovnávání řezivosti U destiček bylo zkoumáno opotřebení břitu pod mikroskopem. Řezivost vybraných druhů destiček je mezi sebou porovnána a jsou zde rozebrány příčiny těchto rozdílů. V závěru je proveden ekonomický rozbor z pohledu ceny jednotlivých břitových destiček.

ANNOTATION OF THESIS

Černák, Vojtěch. *Tool-life Tests of Inserts*. Ostrava: Department of Machining and Assembly. Faculty of Mechanical Engineering, VŠB -Technical University Ostrava, 2007, Graduation thesis, head: Ing. Robert Čep, Ph.D., MSc.

Diploma thesis deals with cutting power of cutting inserts. There is resume of cutting power tests in theoretical part. Next chapter is dealing by suitable method, testing material and machine tool. There were chosen eleven types of cutting inserts by different producers, various cutting geometry and different materials. After tests were made calculations for cutting power compare. There were monitored tool wear by microscope. Cutting power of each cutting inserts was compared and discusses results different. In conclusion is economical analysis in the view of cutting insets price.

1. Úvod do problematiky	9
1.1 Vzájemný vztah řezivosti a obrobitelnosti	9
1.2 Pojem řezivost	10
1.3 Řezné vlastnosti slinutých karbidů	10
2. Možnosti testování břitových destiček	11
2.1 Dlouhodobé zkoušky	11
2.2 Krátkodobé zkoušky	13
2.2.1 Čelní krátkodobá zkouška	14
2.2.2 Mikrozkouška obrobitelnosti	14
2.2.3 Zkouška za snížené míry obrobitelnosti	15
2.2.4 Použití nástroje se sníženou řezivostí	15
2.2.5 Zkouška za zvýšené řezné rychlosti	15
2.3 Nepřímé metody zjišťování obrobitelnosti	15
2.3.1 Dynamická metoda	15
2.3.2 Měření tvrdosti obrobku	17
2.3.3 Mikrometrická metoda	17
2.3.4 Porovnání tvaru třísky	18
2.3.5 Leyensetterova metoda	18
2.3.6 Metoda vrtání při konstantním tlaku	19
2.3.7 Určování řezivosti pomocí teploty	20
2.3.8 Měření hloubky zpevněné vrstvy	21
3. Experimentální část.....	22
3.1 Výběr vhodného testování vyměnitelných břitových destiček	22
3.2 Výběr vyměnitelných břitových destiček	23
3.3 Přehled vybraných VBD a jejich představení	23
3.3.1 Testované břitové destičky firmy Pramet	24
3.3.2 Testovaná břitová destička firmy Sandvik	25
3.3.3 Testované břitové destičky firmy Mitsubishi	25
3.3.4 Testovaná břitová destička firmy Widia	25
3.3.5 Testovaná břitová destička firmy Boehlerit	26
3.3.6 Vysvětlení značení VBD	26
3.4 Nožové držáky	27
3.5 Obráběný materiál	28
3.6 Volba řezných parametrů zkoušky	29
3.7 Volba obráběcího stroje	31
3.8 Zkouška řezivosti VBD	31
3.8.1 Průběh zkoušky	31
3.8.2 Naměřené hodnoty	33
3.9 Výpočet	35
3.9.1 Vyjádření a přehled vzorců pro výpočet	35
3.9.2 Vzorový výpočet pro VBD pod položkou 1	37
3.10 Grafy závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti v logaritmické souřadnici	39
3.11 Porovnání řezivosti	45
3.12 Zkoumání opotřebení břitu	46
4. Diskuze a vyhodnocení experimentů	49
5. Technicko – ekonomické zhodnocení	50
6. Závěr	51

Seznam použitého značení

Značení	Význam	Jednotka
$\overline{\phi D_n}$	Průměrná hodnota naměřených průměrů	mm
C_T	Konstanta	-
ϕD_1	Průměr, kterého dosáhnul řezný nástroj při nižších otáčkách	mm
ϕD_2	Průměr, kterého dosáhnul řezný nástroj při vyšších otáčkách	mm
F_c	Řezná síla	N
HM_e	Hloubka zpevněné vrstvy etalonového materiálu	μm
HM_{zk}	Hloubka zpevněné vrstvy testovaného materiálu	μm
K_e	Koeficient přechování třísky referenčního materiálu	-
K_v	Index obrobitelnosti	-
K_{zk}	Koeficient přechování třísky testovaného materiálu	-
T_n	Trvanlivost břitu	min
T_{n1}	Trvanlivost nástroje při nižších otáčkách	min
T_{n2}	Trvanlivost nástroje při vyšších otáčkách	min
VB	Velikost otupení	mm
VBD	Vyměnitelná břitová detsička	-
a_p	Hloubka třísky	mm
a_{pe}	Hloubka vniknutí nože do referenčního materiálu	mm
a_{pzk}	Hloubka vniknutí nože do zkoumaného materiálu	mm
d_e	Průměr vtisku do etalonového materiálu	mm
d_{zk}	Průměr vtisku do zkoumaného materiálu	mm
f_n	Posuv	mm
h_e	Vyvrtná hloubka otvoru do referenčního materiálu	mm
h_{zk}	Vyvrtná hloubka otvoru do zkoušeného materiálu	mm
m	exponent	-
n	Otáčky	ot/min
r_{te}	Poloměr svinované třísky etalonového materiálu	mm
r_{tzk}	Poloměr svinované třísky zkoumaného materiálu	mm
v_c	Řezná rychlost	m/min
v_{c1}	Řezná rychlost, kterou dosáhl nástroj při nižších otáčkách	m/min
v_{c2}	Řezná rychlost, kterou dosáhl nástroj při vyšších otáčkách	m/min
v_{cet}	Řezná rychlost etalonového materiálu	m/min
v_{czk}	Řezná rychlost zkoumaného materiálu	m/min
Θ_e	Střední teplota řezání etalonového materiálu	$^{\circ}\text{C}$
Θ_{zk}	Střední teplota řezání zkoumaného materiálu	$^{\circ}\text{C}$

Úvod

Zkoušky životnosti nebo můžeme říci i řezivosti vyměnitelných břitových destiček jsou v dnešní době nezbytnou součástí pro vývoj nových nástrojů a hodnocení jejich životnosti či řezivosti. Neustálý vývoj nových konstrukčních materiálů klade větší a náročnější požadavky na opracování, toto je jeden z hlavních důvodů neustálého vývoje nových materiálů nástrojů a vylepšování jejich geometrie. Další popud k vývoji nových nástrojů dává stále větší požadavek na produktivitu a hospodárnost výroby.

Vzhledem k tomu, že vývoj je tak rychlý a požadavky ze strany odběratele se stále zvyšují, je nutné přistupovat ke zkouškám, které jsou méně náročné na čas a zároveň jsou dostatečně přesné. Zákazník dnes požaduje kvalitní nástroje za rozumnou cenu a s rychlou dodací lhůtou

Podstata diplomové práce

Cílem práce je vybrat vhodnou zkoušku pro určení řezivosti vyměnitelných břitových destiček. Dále navrhnout postup zpracování zkoušek tak aby bylo možné porovnat a vyhodnotit řezivosti vybraných břitových destiček.

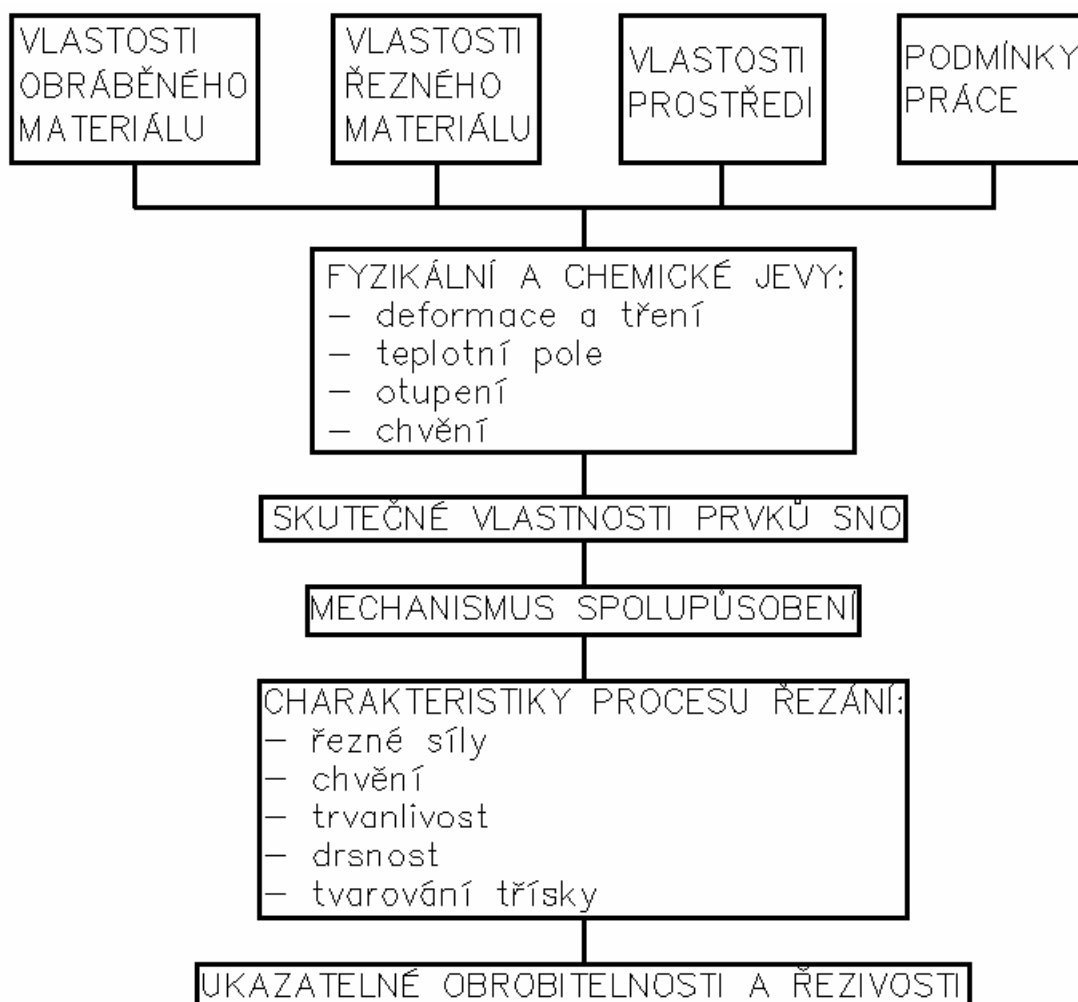
K dosažení cíle bakalářské práce je nutné provést :

- výběr břitových destiček ze sortimentu používaných destiček ve firmě Č.V.PROTOTYP s.r.o.
- navrhnout vhodnou zkoušku břitových destiček
- provést samotnou zkoušku řezivosti
- z naměřených a vypočtených hodnot porovnat řezivost VBD

1. Úvod do problematiky

1.1 Vzájemný vztah řezivosti a obrobitelnosti

Řezivost a obrobitelnost nejsou absolutní vlastnosti řezného nebo obráběného materiálu. V podstatě jde o relaci řezného materiálu, obráběného materiálu a prostředí, které závisí i na použitých podmínkách práce. Mezi podmínky práce patří řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, geometrie nástroje. Jako ukazatelé řezivosti a obrobitelnosti sledujeme síly obrábění, trvanlivost, drsnost povrchu, rozměrová přesnost a tvarování třísky. Vzájemným spolupůsobením všech těchto vlastností v daných podmínkách práce můžeme sledovat obrobitelnost materiálu nebo řezivost nástroje.[1]



Obr.1 Ukazatelé obrobitelnosti a řezivosti [1]

1.2 Pojem řezivost

Řezivost obráběcího nástroje se vztahuje k druhu řezného materiálu. Vlastnosti řezného materiálu se posuzují dle jeho vývoje a použití. Řezivost představuje souhrn vlastností, které vyjadřují schopnost řezného materiálu řezat obráběný materiál za fyzikálních podmínek, které jsou pro řezání charakteristické. Úzce to souvisí s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nástroje, ale i s dalšími jako je metoda obrábění, geometrie, řezné parametry a povlak nástroje. Z různých podmínek práce vyplívají i různé požadavky na nástrojové materiály. Aby měl nástroj vysokou životnost a trvanlivost, je nutné volit druh řezného materiálu na základě hlubších poznání jevů probíhajících v zóně řezání. Jednoduchým kritériem je $T-v_c$ závislost. Obecně má lepší řezivost ten nástrojový materiál, který dosahuje vyšší hodnoty konstanty C_v a nižší hodnotu exponentu m . [1]

1.3 Řezné vlastnosti slinutých karbidů

Řezné vlastnosti slinutých karbidů závisí na fyzikálních a mechanických vlastnostech. Použití slinutých karbidů přináší vysokou trvanlivost a odolnost proti otupení za vysokých teplot. Velmi dobrou vlastností slinutých karbidů je vysoká tvrdost, která se dosahuje vysokým obsahem karbidů kovů jako tuhých roztoků. Tvrdost závisí na chemickém složení, na zrnitosti a na mikrostruktuře. Je tím vyšší, čím vyšší je obsah karbidů, stupeň disperze krystalů a čím vyšší je procento tuhého karbidového roztoku. Tvrdost titanowolframových slinutých karbidů je zpravidla vyšší jako tvrdost karbidů wolframových. Tlaková pevnost wolframových SK je nejvyšší při obsahu kobaltu 3 až 5%. Tahová pevnost se s ohledem na velkou křehkost obvykle nestanovuje. Prodloužení slinutých karbidů prakticky neexistuje. Modul pružnosti je vysoký, a to až 54 000, respektive 55 000 MPa. Vrubová houževnatost, která udává stupeň křehkosti slinutých karbidů je malá. Slinuté karbidy pro svoji křehkost nesnášejí rázové namáhání. Při ohřátí slinutých karbidů na 300 až 400 °C se vrubová houževnatost zvýší dvojnásobně, při ohřátí na 600 °C se sníží na původní hodnotu. Při ohřátí wolframových slinutých karbidů na 800 °C zůstane vrubová houževnatost na úrovni hodnot zaznamenaných při pokojové teplotě, při ohřátí titanowolframových slinutých karbidů se zvýší asi na trojnásobek hodnot pokojové teploty. Tepelná vodivost je zpravidla při porovnání s rychlořeznými oceli u slinutých karbidů lepší. Se zlepšením tepelné vodivosti se zlepšuje odvod tepla od třísky a řezné hrany. [1]

2. Možnosti testování břitových destiček

Řezivost a obrobitelnost jsou ve vzájemném velmi úzkém vztahu, a proto zkoušky používané k určování obrobitelnosti jsou zároveň používány jako zkoušky pro určování řezivosti. Zkoušky rozdělujeme do dvou hlavních skupin a to na zkoušky dlouhodobé a krátkodobé.

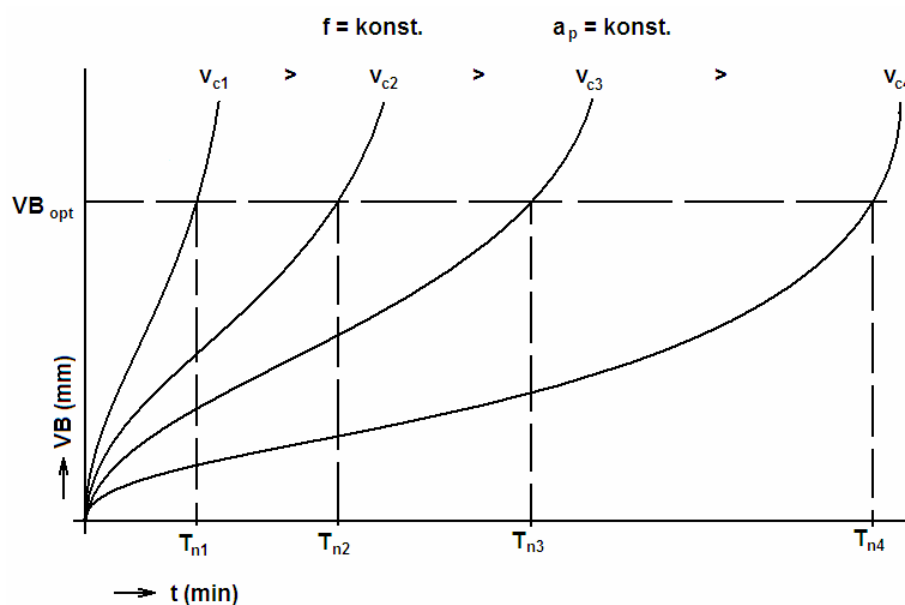
2.1 Dlouhodobé zkoušky

Dlouhodobá zkouška trvanlivosti je v podstatě jen jedna. Kritériem je zde hodnota řezné rychlosti a provádí se soustružením nebo frézováním dohodnutými konstantními řeznými parametry, druhem řezného nástroje a geometrií více odstupňovanými řeznými rychlostmi až do optimálního otupení břitu [2].

Tato zkouška je považována za základní a podle ní se posuzuje míra objektivity ostatních zkoušek obrobitelnosti. Lze je využít i k určování řezivosti nástrojů. Nevýhodou je velká spotřeba obráběného materiálu a náročnost na čas zkoušky [2].

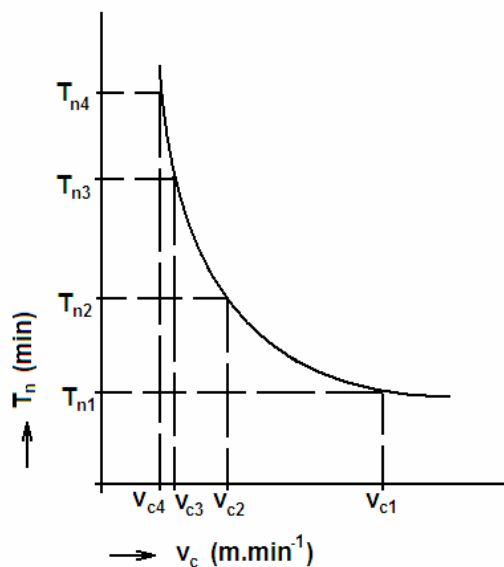
Dlouhodobá zkouška trvanlivosti probíhá následovně:

1) Změříme časový průběh opotřebení na hřbetu nástroje VB pro několik hodnot řezných rychlostí, při konstantních řezných parametrech a sestojí se křivky otupení viz. obr.2.



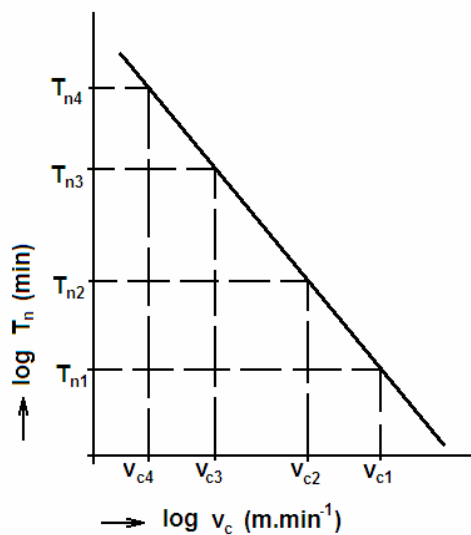
Obr.2 Křivky otupení při proměnné řezné rychlosti, $f = \text{konst.}$, $a_p = \text{konst.}$ [2]

2) Určí se kritérium opotřebení VB_{opt} a tím se stanoví pro každou řeznou rychlost odpovídající trvanlivost bříty viz obr.3.



Obr.3 Stanovení jednotlivých trvanlivostí na základě řezné rychlosti [2]

3) Sestrojí se závislost $T_n = f(v_c)$ v logaritmických souřadnicích a pro vybranou trvanlivost je možné stanovit index obrobitelnosti při srovnání řezné rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí etalonového materiálu viz. obr.4.



Obr.4 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [2]

2.2 Krátkodobé zkoušky

Tyto zkoušky jsou méně objektivní, ale mají výhodu v kratší době trvání a nižší spotřebě materiálu. Rychlé a dostatečně přesné stanovování obrobitelnosti materiálu zejména třískovým obráběním s definovatelnou řeznou geometrií břitu nástroje, je při současném bouřlivém vývoji neustále nově vyvíjených vysoce pevných, tvrdých a přitom zvláště houževnatých technických materiálů jsou velmi potřebné. [2]

Jsou vhodné pro rychlé rozřídění skupiny materiálu podle stupně obrobitelnosti, pro ověření eventuální změny stupně obrobitelnosti u jednotlivých dodávek stejného druhu materiálu nebo pro rychlé určení relativního stupně obrobitelnosti z jednotlivých taveb a u nově vyvíjených materiálů. [2]

Podle principu a použitého kritéria lze tyto zkušební metody dále rozdělit na přímé a nepřímé. Metody založené na přímém zjišťování intenzity opotřebení za zostřených či jinak smluvně upravených podmínek. Nepřímé metody vycházejí ze známého, resp. předpokládaného vztahu mezi opotřebením břitu a charakteristickými parametry řezného procesu. Jsou založeny převážně na zjišťování energetických parametrů. [2]

Přímé metody zjišťování obrobitelnosti:

- Čelní krátkodobá zkouška
- Mikrozkouška trvanlivosti
- Snížení míry opotřebení
- Použití nástroje se sníženou řezivostí
- Zvýšením řezné rychlosti

Nepřímé metody zjišťování obrobitelnosti:

- Dynamická metoda (měření sil při obrábění)
- Měření tvrdosti obrobku
- Mikrometrická metoda (při stejné hodnotě drsnosti)
- Porovnání tvaru třísky
- Leyensetterova metoda

- Vrtání při konstantním tlaku
- Pomocí teploty řezání
- Měření hloubky zpevněné vrstvy

2.2.1 Čelní krátkodobá zkouška

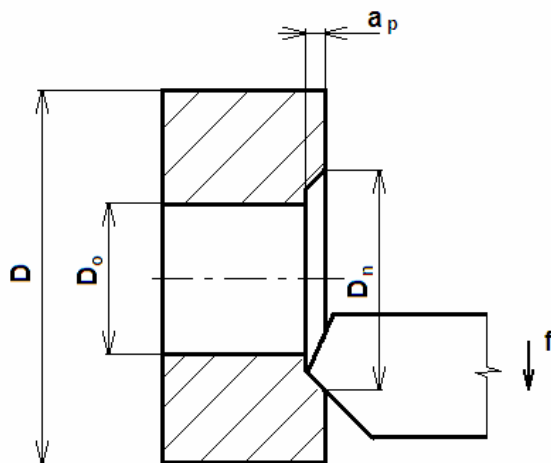
Při čelní zkoušce se soustruží mezikruží na čele disku o průměrech D_o a D . Soustruží se z průměru D_o při konstantních otáčkách, posuvu a hloubce řezu. Řezná rychlost s rostoucím obráběným průměrem narůstá. Měří se, na jakém průměru D_n dosáhne nástroj předem dané hodnoty opotřebení viz. obr.5. Kritériem je potom porovnání řezné rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí odpovídajícího etalonového materiálu [2].

$$K_v = \frac{v_{czk}}{v_{cet}} \quad (1)$$

v_{czk} – řezná rychlost zkoumaného materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

v_{cet} – řezná rychlost etalonového materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Mezi nevýhodou této metody lze považovat potřebu obrobku s velkým poměrem průměru ku délce (disk).



Obr.5 Schéma čelní zkoušky obrobku [2]

2.2.2 Mikrozkouška obrobku

Mikroskouška obrobku je vhodná pouze u nástrojů, jejichž funkční plochy jsou pečlivě lapovány. Tím se výrazně sníží velikost opotřebení v počáteční fázi obrábění a lze tak získat hodnoty pro sestavení závislosti $T_n = f(v_c)$ velmi rychle při malé spotřebě obráběného

materiálu. Vychází z hodnot otupení na hřbetu $VB_B = 0,1$ mm. Lze konstatovat, že příslušné závislosti $T_n - v_c$ jsou prakticky rovnoběžky [1].

2.2.3 Zkouška za snížené míry obrobiteľnosti

Zkouška za snížené míry opotřebení vychází z dlouhodobé zkoušky obrobiteľnosti, ale pro její časovou náročnost se volí kritérium obrobiteľnosti v_{c5} (obrábění řeznou rychlostí po dobu 5 minut) a mezní míra opotřebení 0,2 až 0,3 mm. Jiný autor uvádí mezní míru opotřebení 0,1 až 0,25 mm. Tím se dosáhne snížení trvanlivosti a krátkodobosti zkoušky. Tato zkouška ovšem nezaručuje plnou objektivitu hodnocení indexu obrobiteľnosti. Obrábí se za běžných podmínek jako u dlouhodobé zkoušky.[3]

2.2.4 Použití nástroje se sníženou řezivostí

Pokud vhodným tepelným zpracováním snížíme řezivost nástroje, dosahuje tento nástroj rychlejšího opotřebovávání v porovnání s původním nástrojem za stejných řezných podmínek. Tím opět dosáhneme efektu krátkodobé zkoušky. Druhou možností je úprava břitu nástroje (malý úhel špičky a břitu). [3]

2.2.5 Zkouška za zvýšené řezné rychlosti

Použijeme-li zvýšenou řeznou rychlost než se běžně doporučují, dosáhneme za těchto zostřených řezných podmínek snížení trvanlivosti břitu nástroje a tím i krátkodobosti zkoušky. Závislost $T_n - v_c$ se pak extrapoluje od nižších hodnot trvanlivosti k vyšším nebo se použije přímo nižší hodnota trvanlivosti pro relativní porovnání obrobiteľnosti či řezivosti např. v_{c7} , pro $T_n = 7$ min [2].

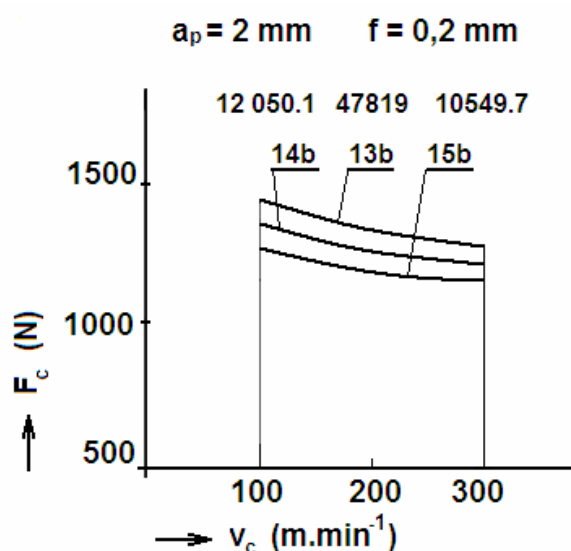
2.3 Nepřímé metody zjišťování obrobiteľnosti

2.3.1 Dynamická metoda

Podstata spočívá v teoreticky dokázané a experimentálně potvrzené skutečnosti, že houževnatější (z hlediska obrobiteľnosti) materiál, při jinak naprosto stejných řezných podmínkách, ale i ostatních parametrech procesu řezání, klade větší měrný řezný odpor.

Jestliže si předem důkladně připravenými a zodpovědně provedenými dlouhodobými zkouškami „otestujeme“ referenční (etalonový) materiál s doposud z hlediska obrobitelnosti novým neznámým hutním materiálem (vzorkem), můžeme pak stanovit příslušné závislosti a porovnáním vytvořit patřičné „převodové mechanismy“ prostřednictvím nichž, jsme pak schopni dostatečně přesně a časově i ekonomicky značně výhodněji určit obrobitelnost krátkodobou zkouškou.[2]

Průběhy závislostí řezné složky síly obrábění F_c (v tomto uváděném případě vnějším podélném soustružení) na řezné rychlosti v_c jsou uvedeny na obr.6. Průběhy těchto uvedených závislostí byly testovány za striktně dodržovaných parametrů a technologických podmínek, které stanovuje platná norma. Závislosti zbývajících složek síly řezání F_f a F_p se z důvodu podstatně menší významnosti v tomto případě neuvádějí [2].



Obr.6 Závislost řezné složky síly obrábění na řezné rychlosti [2]

2.3.2 Měření tvrdosti obrobku

Při této metodě prakticky provádíme klasickou zkoušku tvrdosti obráběného materiálu. Možno je použít v podstatě jakýkoliv dnes dostupný systém na měření tvrdosti. V tomto případě porovnáváme naměřené hodnoty etalonového a materiálu, který je předmětem zkoumání. Na příklad se do materiálu vtiskne kužel z tvrdokovu a měří se průměr vtisku etalonového (referenčního) materiálu a zkoumaného materiálu [2]. Index obrobiteľnosti se potom určí ze vztahu:

$$K_v = \frac{d_e}{d_{zk}}, \text{ kde} \quad (2)$$

d_e – průměr vtisku do etalonového materiálu [mm]

d_{zk} – průměr vtisku do zkoumaného materiálu [mm]

Výhodou je nenáročnost na velikost zkoumaného i etalonového materiálu možnost využití klasických tvrdoměrů. U této metody je nevýhoda, že nemůžeme u ní posuzovat řezivost řezných materiálů.

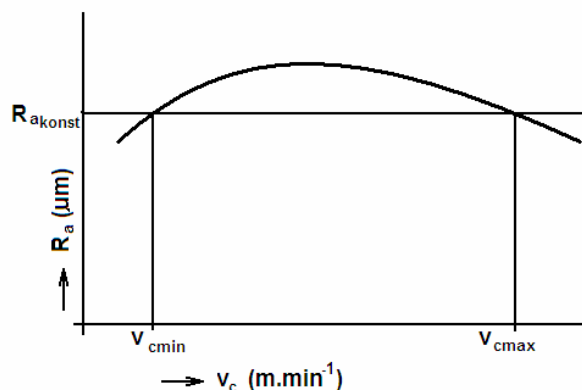
2.3.3 Mikrometrická metoda

Spočívá v porovnání rozdílu řezných rychlostí zkoumaného a referenčního (etalonového) materiálu při odpovídajících stejných hodnotách drsnosti obr.7. Toto měření je pouze doplňkové a nelze jej použít jako samostatné kritérium. U některých materiálů je odlišná závislost mezi řeznou rychlostí a R_a jako na obr.7. V tom případě je určení obrobiteľnosti touto metodou obtížné [2]. Index obrobiteľnosti se potom vypočítá ze vztahu:

$$K_v = \frac{(v_{c \max} - v_{c \min})_e}{(v_{c \max} - v_{c \min})_{zk}} \quad (3)$$

$(v_{c \max} - v_{c \min})_e$ – rozdíl řezných rychlostí etalonového materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

$(v_{c \max} - v_{c \min})_{zk}$ – rozdíl řezných rychlostí zkoušeného materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]



Obr.7 Mikrometrická metoda [2]

2.3.4 Porovnání tvaru třísky

Tato metoda je založena na porovnání tvaru a druhu třísky. Měří se např. poloměr svinované třísky nebo koeficient pěchování třísky u zkoumaného a etalonového materiálu za stejných řezných podmínek [1]. Stejně jako u předchozí metody je tento parametr stanovování obrobitelnosti pouze doplňkový a nelze jej použít samostatně. Používá se převážně u automatových ocelí, resp. při obrábění daného materiálu na automatech nebo poloautomatech. Index obrobitelnosti se potom určí ze vztahu:

$$K_v = \frac{r_{te}}{r_{tzk}} = \frac{K_{zk}}{K_e} \quad (4)$$

r_{te} – poloměr svinované třísky etalonového materiálu [mm]

r_{tzk} – poloměr svinované třísky zkoumaného materiálu [mm]

K_{zk} – koeficient pěchování třísky testovaného materiálu

K_e – koeficient pěchování třísky referenčního materiálu

2.3.5 Leyensetterova metoda

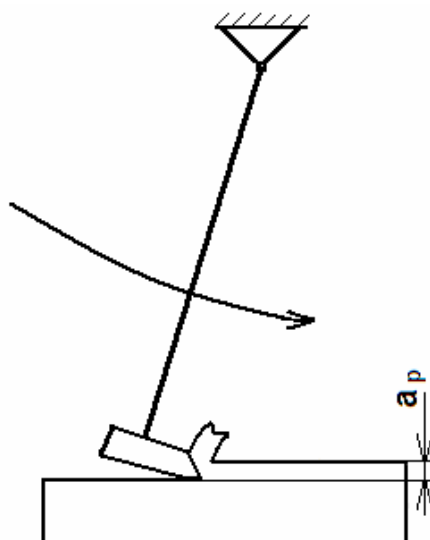
Je obdobou Charpyho kladiva. Na kyvadle je připevněn nůž, který do vzorku vyryje žlábek viz. obr.8. [1] Veličina, která charakterizuje hodnotu indexu obrobitelnosti, je velikost (délka) žlábků, případně hloubka vniknutí nože do obou materiálů (zkoumaného a etalonového) při jeho spuštění z určité výšky [2]. Tato metoda nemá při zkoušení materiálu ze slinutých karbidů velký význam. Nevýhodou je, že není příliš vhodná, ke stanovování

řezivosti řezných materiálů. Dá se podle ní určit jen obrobitelnost. Index obrobitelnosti je potom:

$$K_v = \frac{a_{pzk}}{a_{pe}} \quad (5)$$

a_{pzk} – hloubka vniknutí nože do zkoumaného materiálu [mm]

a_{pe} – hloubka vniknutí nože do referenčního materiálu [mm]



Obr.8 Schéma funkce Lyesetterova kladiva [2]

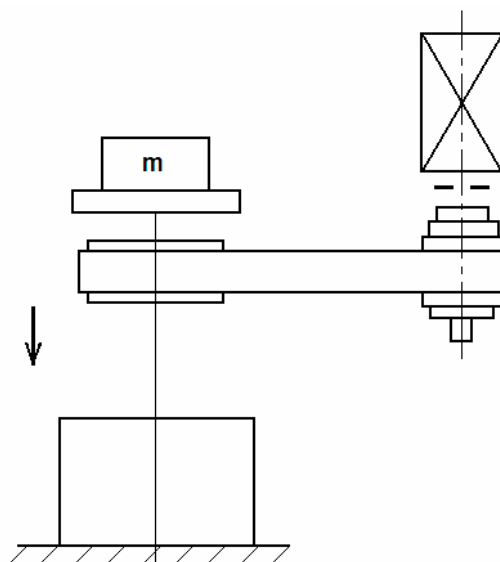
2.3.6 Metoda vrtání při konstantním tlaku

Spočívá v měření hloubky vrtaného otvoru až do úplného otupení vrtáku [1]. Měří se hloubka jak v referenčním, tak i ve zkoumaném materiálu. Index obrobitelnosti se potom stanoví:

$$K_v = \frac{h_{zk}}{h_e} \quad (6)$$

h_{zk} – vyvrtaná hloubka otvoru do zkoušeného materiálu [mm]

h_e – vyvrtaná hloubka otvoru do referenčního materiálu [mm]



Obr.9 Schéma vrtání při konstantním tlaku

Jistou obdobou této metody je vrtání konstantní posunovou silou, při zvolené řezné rychlosti a průměru nástroje (vrtáku). Vrtá se vždy do konstantní hloubky (konstantní dráha řezu) a současně se měří čas vrtání. Kritériem pro stanovení hodnoty obrobiteľnosti je buď čas vrtání, nebo častěji velikost posuvu. Aby se vyloučil vliv příčného ostří, vrtá se obvykle do předvrtaných otvorů. Čím vyšší dosažený posuv při konstantních pracovních podmínkách, tím lepší je pak obrobiteľnost daného materiálu. Výhodou je velká rychlost zkoušky. [2]

2.3.7 Určování řezivosti pomocí teploty

Princip spočívá v měření teploty řezání při obrábění (střední teploty řezání) etalonového a zkoumaného materiálu při shodných pracovních podmínkách. Tato metoda se vyznačuje poměrně vysokým stupněm objektivity. Nevýhodou je, že ji lze použít při určování stupně obrobiteľnosti vždy jedné skupiny materiálu (např. uhlíkové oceli, slitiny hliníku, apod.) [2].

Zkouška se provádí za konstantních řezných parametrů a to buď metodou přirozeného termočlánku, nebo pomocí termodu a to kvůli vyloučení vlivu chemického složení zkoumaného materiálu, je vhodné zkoušku provést při konstantním průřezu třísky ($a_p, f = \text{konst.}$) a při minimálně třech hodnotách řezné rychlosti. Čím nižší je teplota řezání, tím lepší

je i stupeň obrobitelnosti daného materiálu. [2] Výhodou této metody je relativně malá spotřeba obráběného materiálu. Index obrobitelnosti se tedy stanoví ze vztahu:

$$K_v = \frac{\Theta_e}{\Theta_{zk}} \quad (7)$$

Θ_e – střední teplota řezání etalonového materiálu [°C]

Θ_{zk} – střední teplota řezání zkoumaného materiálu [°C]

2.3.8 Měření hloubky zpevněné vrstvy

Podstata metody je založená na měření mikrotvrdosti zpevněné vrstvy těsně pod obrobeným povrchem etalonového a referenčního materiálu [2]. Index obrobitelnosti je dán vztahem:

$$K_v = \frac{HM_e}{HM_{zk}} \quad (8)$$

HM_e – hloubka zpevněné vrstvy etalonového materiálu [μm]

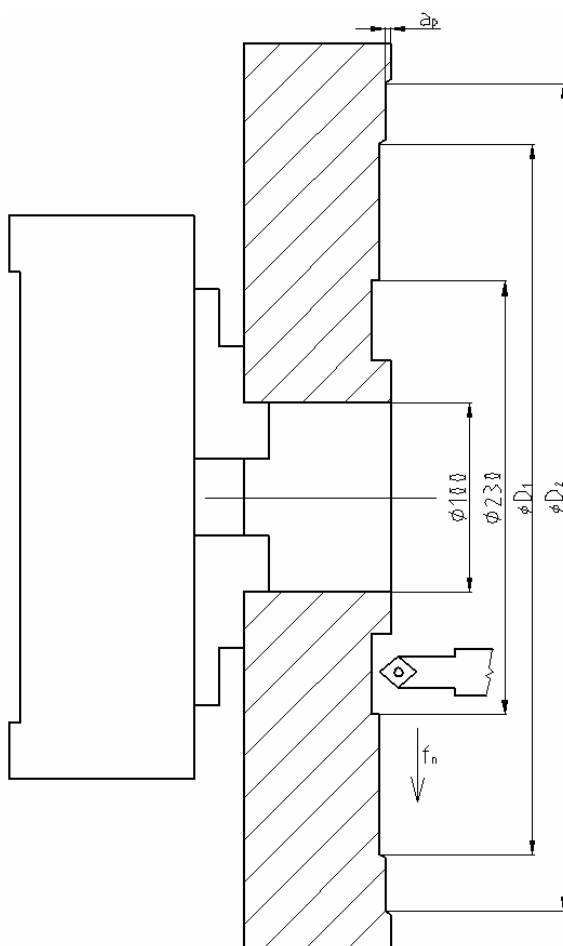
HM_{zk} – hloubka zpevněné vrstvy testovaného materiálu [μm]

3. Experimentální část

3.1 Výběr vhodného testování vyměnitelných břitových destiček

V diplomové práci bude provedeno porovnání řezivosti 11-ti druhů břitových destiček, určené k soustružení. Testované břitové destičky mají stejný tvar a budou se lišit zejména v druhu materiálu a typu povlaku. Až na dvě VBD mají všechny břitové destičky stejný úhel hřbetu. V neposlední řadě je nutné uvést, že VBD budou od pěti různých výrobců.

Vzhledem k většímu počtu zkoušených destiček by bylo vhodné pro menší náročnost na čas a objem odebraného materiálu, při zkoumání řezivosti zvolit nějakou přímou krátkodobou zkoušku řezivosti. Po pečlivém zvážení byla zvolena pro bližší zkoumání a porovnávání řezivosti vybraných VBD čelní zkouška řezivosti nástroje.



Obr.10 Schéma čelní zkoušky

3.2 Výběr vyměnitelných břitových destiček


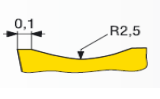

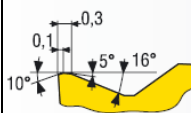

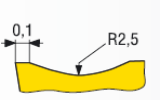

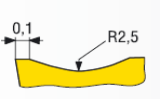

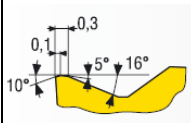


Výběr vyměnitelných břitových destiček byl proveden z používaného sortimentu firmy Č.V-PROTOTYP, určené k polohrubování a jemnému soustružení. Výběr VBD byl takový, aby závěr diplomové práce byl přínosem pro firmu, která poskytla destičky k testování řezivosti. Vybrané VBD jsou od výrobců Pramet, Mitsubishi, Widia, Sandvik a Boehlerit.

3.3 Přehled vybraných VBD a jejich představení

V následujících bodech jsou uvedeny použité VBD pro experiment. Destičky jsou rozděleny do tabulek dle výrobce. Pro větší počet VBD bylo pro lepší orientaci ke každé destičce přiřazena položka. V tabulce je uvedeno označení VBD i s typem materiálu destičky a následně je materiál i popsán.


3.3.1 Testované břitové destičky firmy Pramet

Tab.1 Břitové destičky firmy Pramet

Pol.	VBD	GEOMETRIE HLAVNÍHO BŘITU	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	POPIS MATERIÁLU
1.			CCMT 120408E- 48	6610	<ul style="list-style-type: none"> - Funkčně gradientní substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu - Silný povlak s nosnou vrstvou Al_2O_3 nanesený metodou MTCVD - Dokončovací až hrubovací soustružení - Obrábění materiálů skupiny P dále K a podmíněně aplikovaný i pro skupinu M - Vyšší řezné rychlosti - Kontinuální a přerušovaný řez
2.			CNMG 120408E-M		
3.			CCMT 120408E- 48	6630	<ul style="list-style-type: none"> - Funkčně gradientní substrát - Střední povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD - Dokončovací až hrubovací soustružení - Obrábění materiálu skupiny P, M dále K a podmíněně aplikovaný i pro skupinu S - Střední a podmíněně vyšší řezné rychlosti - Kontinuální řez za dobrých záběrových podmínek
4.			CCMT 120408E- 48	6640	<ul style="list-style-type: none"> - Substrát bez kubických karbidů - Tenký povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD - Zejména polohrubovací a hrubovací soustružení - Obrábění materiálu skupiny P, M dále K a podmíněně aplikovaný i pro skupinu S - Nižší a střední řezné rychlosti - Přerušovaný řez a nepříznivé záběrové podmínky
5.			CNMG 120412E-M		
6.			CCGT 120408ER- SI	8030	<ul style="list-style-type: none"> - Submikronový substrát typu H - Nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD - Kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí - Z hlediska obráběných materiálů velmi univerzální - Střední řezné rychlosti - Horší záběrové podmínky


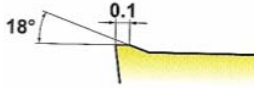
3.3.2 Testovaná břitová destička firmy Sandvik

Tab.2 Břitová destička firmy Sandvik

Pol.	VBD	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	POPIS MATERIÁLU
7.		CCMT 120404-MM	2025	<ul style="list-style-type: none"> - Slinutý karbid s CVD povlakem - Optimalizovaný pro hrubování a polodokončování austenitických a duplexních korozivzdorných ocelí při středních řezných rychlostech - Díky dobré odolnosti vůči tepelným a mechanickým rázům odolávají bříty opotřebení i při přerušovaných řezech


3.3.3 Testované břitové destičky firmy Mitsubishi

Tab.3 Břitové destičky firmy Mitsubishi

Pol.	VBD	GEOMETRIE HLAVNÍHO BŘITU	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	POPIS MATERIÁLU
8.			CCMT 120408	UC6010	-
9.			CCMT 120404	NX2525	- Jedná se o cermet a je vhodný zejména pro dokončovací operace

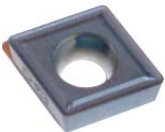
3.3.4 Testovaná břitová destička firmy Widia

Tab.4 Břitová destičky firmy Widia

Pol.	VBD	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	POPIS MATERIÁLU
10.		CCMT 120412	TN 7025	<ul style="list-style-type: none"> - Slinutý karbid s povlakem MT-CVD/VCD - $\text{TiN-TiCN-Al}_2\text{O}_3$ - ZrCN - Vysoká odolnost proti opotřebení - Jemné a střední soustružení - Pro všechny typy ocelí a tvárné litiny

3.3.5 Testovaná břitová destička firmy Boehlerit

Tab.5 Břitová destička firmy Boehlerit

Pol.	VBD	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	POPIS MATERIÁLU
11.		CCMT 120408-BSM	LC225K	<ul style="list-style-type: none"> - Vhodný pro obrábění ocelí a snadno obrobitelných korozivzdorných materiálů při středních řezných rychlostech - Tento materiál je možno použít i pro přerušované řezy - Pro materiál této jakosti je charakteristická vysoká trvanlivost

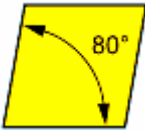

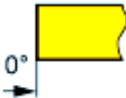

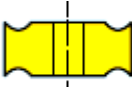

3.3.6 Vysvětlení značení VBD

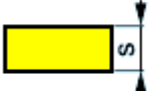


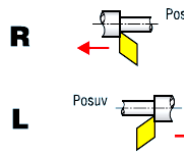
Všichni výrobci vyměnitelných břitových destiček dnes označují břitové destičky dle ISO kódu anebo dle ANSI kódu. Toto jednotné značení usnadňuje orientaci v typech VBD. Rozšířenější je značení dle ISO kódu. V následujících dvou tabulkách jsou pro lepší orientaci v geometrii destiček vybrány použité značení.

Tab.6 Příklad označení VBD

1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
C	C	M	T	12	04	08	E	N	-	M

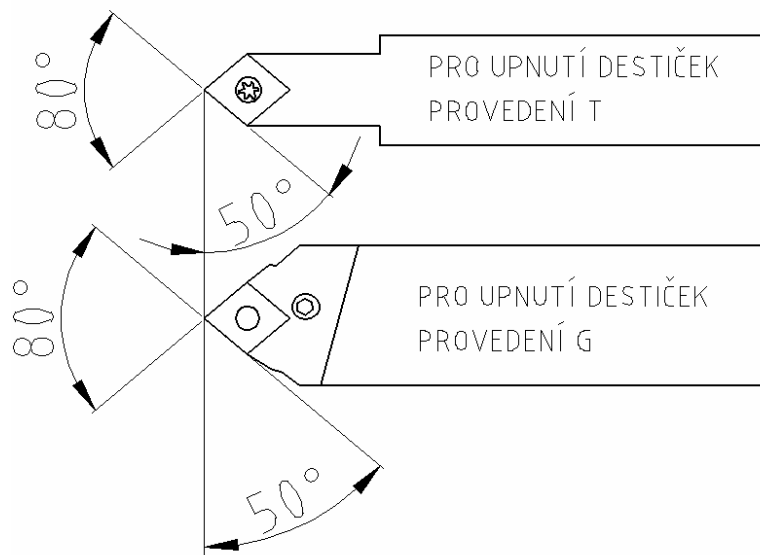
Tab.7 Vysvětlení značení VBD

1	Označuje tvar břitové destičky, pro experiment je použit jen tvar s označením C.				
2	Označuje úhel hřbetu, pro experiment byly použity dva různé stupně úhlu hřbetu. S označením C a N.	C		N	
3	Označuje tolerance rozměrů VBD. Pro experiment jsou tyto informace nepodstatné. Pro experiment budou použity destičky s označením M.				
4	Označuje provedení břitové destičky. Toto značení má převážně vliv na typ upnutí VBD do nožového držáku. Byly použity dvě provedení .	T		G	
5	Číslo pod touto pozicí označuje délku řezné hrany. Jsou vybrány destičky s označením 12, což odpovídá délce řezné hrany 12,7mm.				

6	Označuje tloušťku břitové destičky. Pro experiment byly vybrány destičky s označením 04 což označuje tloušťku 4,76mm.	
7	Toto číslo označuje velikost rádiusu špičky v milimetrech. Pro experiment byly použity tři velikosti: 4, 8, 12.	
8	Označuje provedení řezné hrany. Toto již neuvádí každý výrobce. Pro experiment byli použity destičky se zaoblenou řeznou hranou.	
9	Označuje směr posuvu. U destiček, které se dají použít pro oba směry posuvů se směr posuvu neznačí.	
10	Značí tvar utvářeče. Toto si každý výrobce značí sám.	

3.4 Nožové držáky

Pro upnutí břitových destiček bylo nutné použít dva typy nožových držáku. Jeden typ pro upnutí VBD s úhlem hřbetu 7° . Druhý typ nožového držáku byl použit pro VBD s nulovým úhlem hřbetu. Nožové držáky použité pro experiment a jejich geometrie viz. obr. 11. Z toho vyplývá, že úhel nastavení hlavního a vedlejšího ostří je 50° .



Obr.11 Nožové držáky

3.5 Obráběný materiál

Při výběru obráběného materiálu se bylo nutné zaměřit na několik aspektů, mezi které patří:

- průměr materiálu
- jakost materiálu

Protože zkouška řezivosti bude prováděna čelní zkouškou, je nutné zvolit dostatečně velký průměr obráběného materiálu tak, aby u destiček s vyšší řezivostí nedošlo k tomu, že by čelo materiálu opracovali při zvolených řezných parametrech celé a přitom by nedošlo k požadovanému opotřebení břitu destičky. Takto by nebylo možné naměřit požadované průměry na zkoušeném čele obráběného materiálu.

K této zkoušce není vhodné volit základní jakosti materiálů, jako jsou například oceli třídy 10 a 11. Jakost obráběného materiálu bylo vhodnější zvolit o něco kvalitnější s horší obrobiteľností, aby byla zkouška objektivnější a břit byl také podroben opracovávání materiálu s vyšší tvrdostí. K tomuto kroku je nutné přistoupit, protože v praxi se potýkáme zejména s kvalitnějšími materiály, které kladou vyšší nároky na VBD. Po zvážení všech těchto aspektů je vybrán materiál s jakostí dle ČSN 15 142 a dle DIN 42CrMo4 o $\Phi 480\text{mm}$. Obráběný materiál byl zajištěn VŠB-TUO katedrou obrábění a montáže o $\Phi 480 \times 85\text{mm}$.

Charakteristika oceli

Chromo – molybdenová ocel vhodná ke kalení v oleji s příznivými hodnotami vrubové houževnatosti při vysoké pevnosti. Má zvýšenou odolnost proti popouštění a může být používána i za zvýšených teplot do cca 500 °C. Zušlechťená na pevnost nad 1050 MPa má zvýšenou odolnost proti opotřebení. Je vhodná pro povrchové kalení. Není náchylná k popouštěcí křehkosti.

Vhodnost použití

Vysoce namáhané díly, kde se požaduje při vysoké pevnosti i vysoká houževnatost. Konstrukční díly a součásti motorových vozidel, zejména vysoce namáhané hřídele, součást řízení a spojovací součásti i pro vyšší teploty

Tab.8 Chemické složení oceli 15 142

Chemické složení [%]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
0,38-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,90-1,20	max 0,50	0,15-0,30	max 0,035	max 0,035

Tab.9 Tvrdost a obrobitelnost oceli 15 142

Tvrdost	280HB
Obrobitelnost	10b

3.6 Volba řezných parametrů zkoušky

Při volbě řezných podmínek je nutné brát ohled na to, že testované destičky jsou používány pro dokončovací a polohrubovací operace. Řezné parametry, kterými jsou posuv a hloubka řezu, budou pro každou zkoušku neměnné. Měnit se budou jen otáčky. Hloubka řezu musí být zvolena tak, aby byla větší nebo rovna největšímu rádiusu špičky z vybraných vyměnitelných břitových destiček.

Posuv musí být zvolen také tak, aby byl větší nebo roven největšímu posuvu uváděnému výrobcem z vybraných VBD. To proto, že výrobce uvádí minimální možné posuvy na základě toho, jaký je velikost rádiusu ostří. Kdybychom zvolili posuv např. 0,1mm a minimální posuv výrobcem by byl doporučen 0,2mm, lze předpokládat, že rádius ostří je 0,2mm. Tak bychom dosáhli toho, že každou druhou otáčku, by VBD materiál neodebírala, ale přechovala a zpevňovala by si odebíranou vrstvu pro další otáčku. Tímto by docházelo k rychlejšímu opotřebení břitu a k neobjektivnosti zkoušky.

Otáčky musí být zvoleny tak, aby se řezná rychlost s roustoucím průměrem zvýšila na tolik, aby došlo k úplnému opotřebení břitu nástroje anebo k jeho destrukci dřív, než by VBD stihla opracovat celé čelo obráběného materiálu. Volba otáček bude nejdříve provedena na

základě zhodnocení řezných rychlostí doporučených výrobcem tak, aby zvolené otáčky dosáhli na $\Phi 400$ řezné rychlosti o mnoho vyšší, než je horní hranice řezné rychlosti doporučené výrobcem. Při zkoušce je nutno vybrat jako první VBD, u které se předpokládá vyšší trvanlivost a následně otestovat, zda zvolené otáčky jsou pro měření dostatečně vysoké, je-li tomu naopak je nutné otáčky zvýšit.

Tab.10 Řezné parametry experimentu

Otáčky $n[\text{ot/min}]$	Posuv $f_n[\text{mm/ot}]$	Hloubka řezu $a_p[\text{mm}]$
355	0,2	1,2
450		

3.7 Volba obráběcího stroje

Při volbě obráběcího stroje bylo nutné brát ohled na rozsah jeho otáček, a protože bude opracováváno čelo kruhové desky, tak nás bude zajímat jen oběžný průměr nad ložem. S ohledem na všechny požadavky je zvolen pro provedení zkoušek soustruh SU 50A, který má oběžný průměr nad ložem 500mm a maximální otáčky jsou 1400ot/min, což je pro experiment maximálně postačující.



Obr.12 Obráběcí stroj SU 50A

3.8 Zkouška řezivosti VBD

3.8.1 Průběh zkoušky

Protože rozměr obráběného materiálu je $\varnothing 480 \times 85 \text{ mm}$, jak již bylo zmíněno v předešlém bodě, je nutné do materiálu vyvrtat osový otvor $\varnothing 100 \text{ mm}$, aby bylo možno materiál za tento otvor upnout. Kdybychom chtěli materiál upnout za vnější průměr, bylo by problematičtější pro tuto zkoušku zajistit stroj. Pro zkoušku bylo nutné zajistit co největší tuhost v soustavě stroj – nástroj - obrobek. Pro větší bezpečnost byl zkoušený materiál podepřen koníkem.

Jako ØDo byl zvolen Ø230mm. Vždy byla nejdříve testovaná destička při otáčkách 355ot/min. Poté se VBD v nožovém držáku otočila na druhý břit a provedl se test při 450ot/min. Jako první se testovalo při 355ot/min, proto aby byla ušetřena jedna operace na přerovnání čela. Vždy po provedení zkoušky jednoho břitu byl změřen a zapsán naměřený průměr do tabulky. Byl změřen průměr (viz. obr. 10), na který VBD dokázala dojet těsně před úplným opotřebením břitu. Vždy bylo z opracovaného povrchu jednoznačně prokazatelné, kde došlo k potřebnému opotřebení břitu. Toto se dalo poznat například okem znatelnou změnou drsnosti povrchu anebo byla okem rozpoznatelná změna rozměru povrchu opracovaného ostrým břitem a povrchu opracovávaného již břitem opotřebeným. Měření průměrů bylo provedeno posuvným měřidlem s rozsahem 0-500mm. Vždy po každém měření jedné břitové destičky bylo zarovnáno čelo. Identifikovat, že bylo dosaženo potřebného opotřebení během procesu a následně zastavit posuv a současně vyjet ze záběru, se dalo podle velkého množství létajících jisker z místa řezu. Konečnou fázi opotřebení břitu u některých destiček bylo doprovázeno velmi pronikavým pískáním způsobeným třením mezi hřbetem nástroje a opracovaným povrchem. Pro každý typ břitové destičky byla provedena tři měření. Celý experiment probíhal bez chlazení. Výrobci VBD udávají potřebné utahovací momenty pro utáhnutí destičky do nožového držáku. Proto byl při experimentu použit speciální šroubovák s momentovou rukojetí, na které byl nastaven požadovaný utahovací moment.

3.8.2 Naměřené hodnoty

Tab.11 Tabulka naměřených a průměrných hodnot s popisem průběhu zkoušky

Tab. 11 Tabulka naměřených a průměrných hodnot s popisem průběhu zkoušky

Pol.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	ČÍSLO MĚŘENÍ	ΦD ₁ [mm]	ΦD ₂ [mm]
1.	Pramet	CCMT 120408E-48	6610	1.	471	475
				2.	465	472
				3.	453	475
				$\overline{\phi D_n}$	463,0	474,0
	- Třísky se po celou dobu zkoušky krásně lámaly					
2.	Pramet	CNMG 120408E-M	6610	1.	434	459
				2.	425	445
				3.	420	440
				$\overline{\phi D_n}$	426,3	448,0
	- Třísky byla dlouhá, nezkroucená s malými frekvencemi lámání a tvořila chuchvalce - Konečnou fázi opotřebení provázely velké zvukové efekty					
3.	Pramet	CCMT 120408E-48	6630	1.	343	374
				2.	327	358
				3.	330	360
				$\overline{\phi D_n}$	333,3	364,0
	- Třísky byla dlouhá, nezkroucená s malými frekvencemi lámání a tvořila chuchvalce					
4.	Pramet	CNMG 120412E-M	6640	1.	275	296
				2.	282	301
				3.	280	298
				$\overline{\phi D_n}$	279,0	298,3
	- Třísky byla dlouhá, nezkroucená s malými frekvencemi lámání a tvořila chuchvalce - Konečnou fázi opotřebení provázely velké zvukové efekty					
5.	Pramet	CCMT 120408E-48	6640	1.	279	298
				2.	285	305
				3.	288	321
				$\overline{\phi D_n}$	284,0	308,0
	- Třísky spirálovité o 1-3 závitech průměru 8mm, místy zkroucená špona o menším průměru a délce až 200mm					
6.	Pramet	CCGT 120408ER-SI	8030	1.	263	281
				2.	250	262
				3.	254	267
				$\overline{\phi D_n}$	255,7	270,0
	- Drobné třísky doprovázené rychlým průběhem opotřebení					
7.	Sandvik	CCMT 120404-MM	2025	1.	284	330
				2.	295	314
				3.	278	296
				$\overline{\phi D_n}$	285,7	313,3
	- Třísky dlouhé spirálovité, délka až 400m o průměru 7mm					

Tab.12 Tabulka naměřených a průměrných hodnot s popisem průběhu zkoušky

Pol.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	ČÍSLO MĚŘENÍ	ΦD ₁ [mm]	ΦD ₂ [mm]
8.	Mitsubishi	CCMT 120408	NX2525	1.	301	349
				2.	309	340
				3.	306	338
				$\overline{\phi D_n}$	305,3	342,3
	- Třísky dlouhé spirálovité, délka až 400m o průměru 7mm - Rychlý přechod v požadované opotřebení					
9.	Mitsubishi	CCMT 120408	UC6010	1.	327	372
				2.	332	379
				3.	320	394
				$\overline{\phi D_n}$	326,3	381,7
	- Zkroucené třísky o délce 30-40mm a průměru 4mm					
10.	Widia	CCMT 120412	TN 7025	1.	331	358
				2.	310	335
				3.	285	340
				$\overline{\phi D_n}$	308,7	344,3
	- Tříska byla dlouhá, nezkroucená s malými frekvencemi ulomení a tvořila chuchvalce					
11.	Boehlerit	CCMT 120408-BSM	LC225K	1.	302	335
				2.	308	340
				3.	305	335
				$\overline{\phi D_n}$	305,0	336,7
	- Při nižších otáčkách byla tříska lámaná a s rostoucí řeznou rychlostí dlouhá spirálovitá - Při vyšších otáčkách byla také lámaná, ale při větší řezné rychlosti se tvořily chuchvalce špon					

3.9 Výpočet

Tab.13 Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

POř.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	ϕD_1 [mm]	ϕD_2 [mm]	v_{c1} [m/min]	v_{c2} [m/min]	m [-]	C_T [-]	T_{n1} [min]	T_{n2} [min]
1.	Pramet	CCMT 120408E	6610	474,0	463,0	528,4	654,2	1,2	$3,15 \cdot 10^3$	1,72	1,29
2.	Pramet	CNMG 120408E	6610	448,0	426,3	499,4	602,4	1,5	$1,67 \cdot 10^4$	1,53	1,09
3.	Pramet	CCMT 120408E	6630	364,0	333,3	405,8	471,0	2,2	$3,97 \cdot 10^5$	0,94	0,57
4.	Pramet	CNMG 120412E	6640	298,3	279,0	332,5	394,2	1,8	$2,4 \cdot 10^4$	0,48	0,27
5.	Pramet	CCMT 120408E	6640	308,0	284,0	343,3	401,3	2,0	$1,06 \cdot 10^5$	0,55	0,30
6.	Pramet	CCGT 120408ER	8030	270,0	255,7	301,0	361,3	1,6	$6,6 \cdot 10^3$	0,28	0,14
7.	Sandvik	CCMT 120404	2025	313,3	285,7	349,2	403,7	2,3	$4,06 \cdot 10^5$	0,59	0,31
8.	Mitsubishi	CCMT 120408	NX2525	342,3	305,3	381,6	431,4	2,9	$1,54 \cdot 10^7$	0,79	0,42
9.	Mitsubishi	CCMT 120408	UC6010	381,7	326,3	425,5	461,1	4,9	$3,58 \cdot 10^{12}$	1,07	0,53
10.	Widia	CCMT 120412	TN 7025	344,3	308,7	383,8	436,2	2,7	$6,41 \cdot 10^6$	0,80	0,44
11.	Boehlerit	CCMT 120408	LC225T	336,7	305,0	375,3	431,0	2,4	$1,25 \cdot 10^6$	0,75	0,42

3.9.1 Vyjádření a přehled vzorců pro výpočet

Řezná rychlost:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m/min] \quad (9)$$

Trvanlivosti břitu:

$$T_n = \frac{D_1 - D_0}{2} \cdot \frac{1}{f \cdot n_1} [\min] \quad (10)$$

nebo

$$T_n = \frac{500 \cdot (v_1 - v_0)}{\pi \cdot f \cdot n_1^2} [\min] \quad (11)$$

Konstanta C_T :

$$C_T = T_n \cdot v_{stř}^m \quad (12)$$

$$\int_{v_0}^{v_1} v^m dv = \frac{v_1^{m+1} - v_0^{m+1}}{m+1} \quad (13)$$

$$v_{stř}^m = \frac{v_1^{m+1} - v_0^{m+1}}{(m+1) \cdot (v_1 - v_0)} \quad (14)$$

$$C_T = \frac{500}{\pi \cdot f \cdot n_1^2} \cdot \frac{v_1^{m+1} - v_0^{m+1}}{m+1} \quad (15)$$

$$C_T = \frac{500}{\pi \cdot f \cdot n_1^2} \cdot \frac{v_1^{m+1}}{m+1} = \frac{500}{\pi \cdot f \cdot n_2^2} \cdot \frac{v_2^{m+1}}{m+1} \quad (16)$$

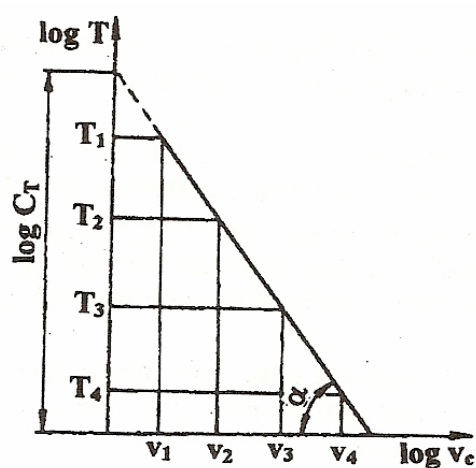
Exponent m :

$$C_T = \frac{500}{\pi \cdot f \cdot n_1^2} \cdot \frac{v_1^{m+1}}{m+1} = \frac{500}{\pi \cdot f \cdot n_2^2} \cdot \frac{v_2^{m+1}}{m+1}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{m+1} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

Po zlogaritmování

$$\Rightarrow m = 2 \cdot \frac{\log \frac{n_2}{n_1}}{\log \frac{v_2}{v_1}} - 1 \quad (17)$$



Obr.13 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti

Úhel α : (18)

$$m = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} m$$

3.9.2 Vzorový výpočet pro VBD pod položkou 1.

V tomto bodě je uveden jen jeden vzorový výpočet pro jednu vybranou břitovou destičku, protože vzorový výpočet pro každou břitovou destičku by byl velmi rozsáhlý. Ostatní vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 13.

Výpočet velikosti exponentu m :

$$m = 2 \cdot \frac{\log \frac{n_2}{n_1}}{\log \frac{v_2}{v_1}} - 1$$
$$m = 2 \cdot \frac{\log \frac{450}{355}}{\log \frac{654,2}{528,4}} - 1$$
$$\underline{\underline{m = 1,22}}$$

Výpočet úhlu α :

$$\alpha = \arctg m$$
$$\alpha = \arctg 1,22$$
$$\underline{\underline{\alpha = 50,66^\circ}}$$

Výpočet řezné rychlosti, které bylo dosaženo těsně před požadovaným opotřebením břitu, při 355ot/min:

$$v_{cl} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{1000}$$
$$v_{cl} = \frac{\pi \cdot 474 \cdot 355}{1000}$$
$$\underline{\underline{v_{cl} = 528,4 m \cdot \min^{-1}}}$$

Výpočet řezné rychlosti, které bylo dosaženo těsně před požadovaným opotřebením břitů, při 450ot/min:

$$v_{c2} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{1000}$$

$$v_{c1} = \frac{\pi \cdot 463 \cdot 450}{1000}$$

$$\underline{\underline{v_{c2} = 654,2m \cdot \min^{-1}}}$$

Výpočet velikosti konstanty C_T při 355ot/min:

$$C_T = \frac{500 \cdot v_1^{m+1}}{\pi \cdot f \cdot n_1^2 \cdot (m+1)}$$

$$C_T = \frac{500 \cdot 528,4^{1,22+1}}{\pi \cdot 0,2 \cdot 355^2 \cdot (1,22+1)}$$

$$\underline{\underline{C_T = 3152}}$$

Pro ověření správnosti předešlého výpočtu, výpočet velikosti konstanty C_T při 450ot/min:

$$C_T = \frac{500 \cdot v_2^{m+1}}{\pi \cdot f \cdot n_2^2 \cdot (m+1)}$$

$$C_T = \frac{500 \cdot 654,2^{1,22+1}}{\pi \cdot 0,2 \cdot 450^2 \cdot (1,22+1)}$$

$$\underline{\underline{C_T = 3152}}$$

Vypočet trvanlivosti při 355ot/min:

$$T_{n1} = \frac{500 \cdot (v_1 - v_0)}{\pi \cdot f \cdot n_1^2}$$

$$T_{m1} = \frac{500 \cdot (528,4 - 256,5)}{\pi \cdot 0,2 \cdot 355^2}$$

$$\underline{\underline{T_{n1} = 1,72 \min}}$$

Vypočet trvanlivosti při 450ot/min:

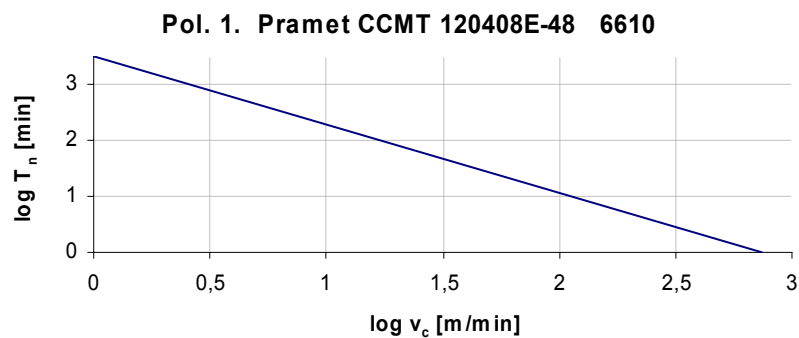
$$T_{n2} = \frac{500 \cdot (v_2 - v_0)}{\pi \cdot f \cdot n_1^2}$$

$$T_{m2} = \frac{500 \cdot (654,2 - 325,2)}{\pi \cdot 0,2 \cdot 450^2}$$

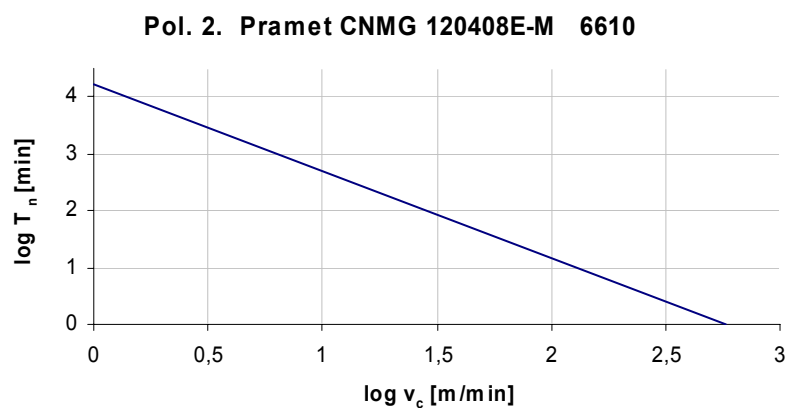
$$\underline{\underline{T_{n2} = 1,29 \text{ min}}}$$

3.10 Grafy závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti v logaritmické souřadnici

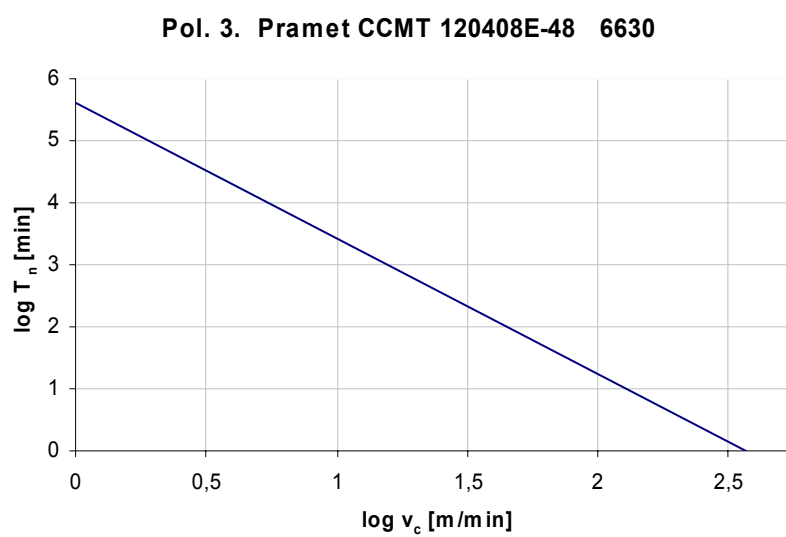
Graf.1 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



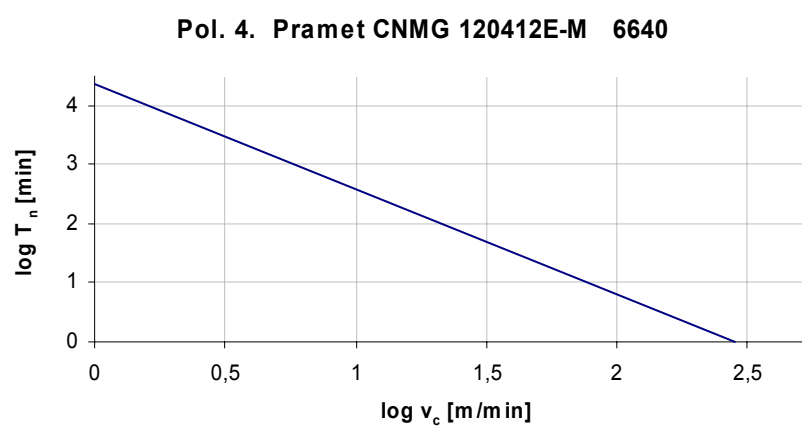
Graf.2 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



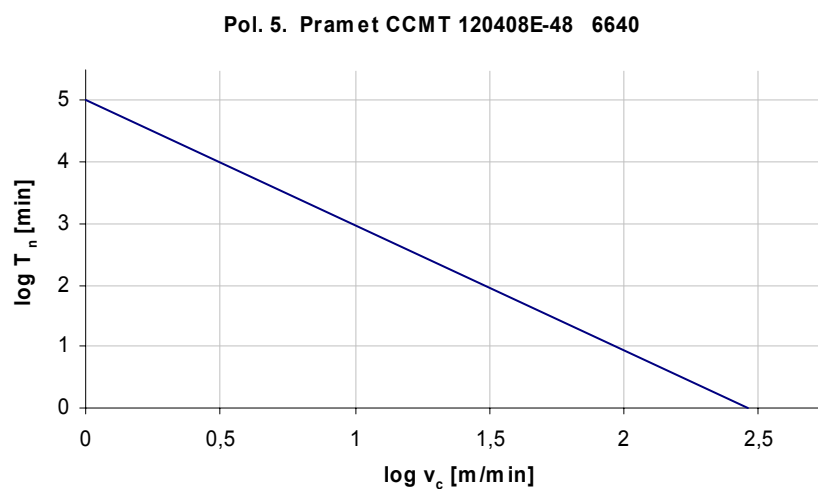
Graf.3 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



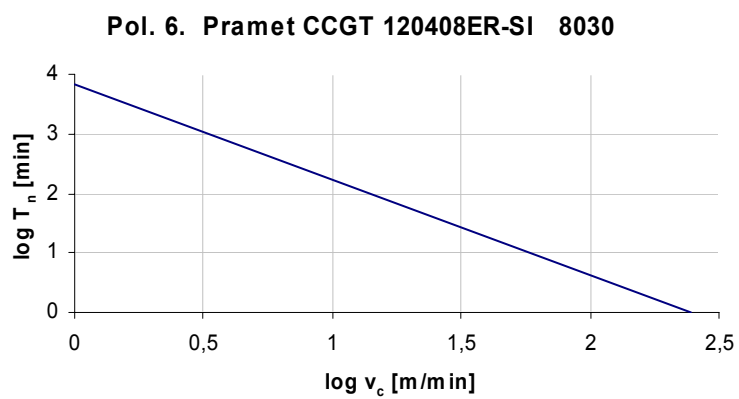
Graf.4 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



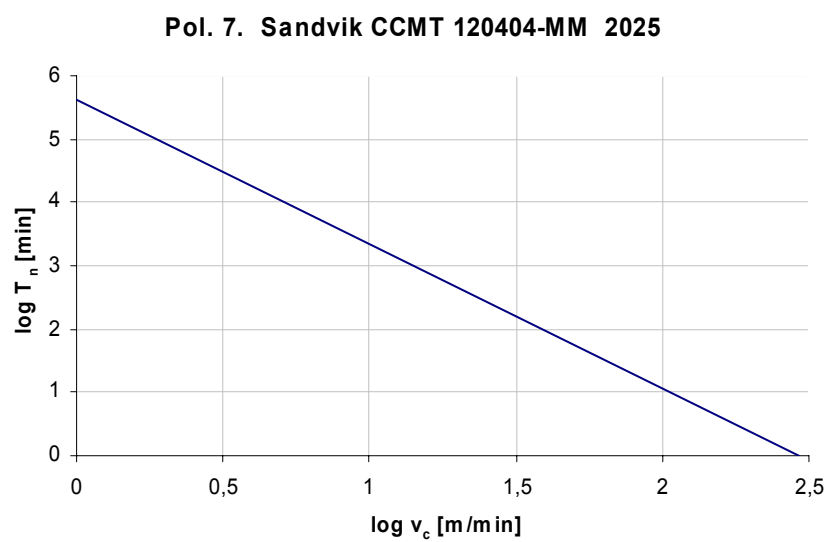
Graf.5 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



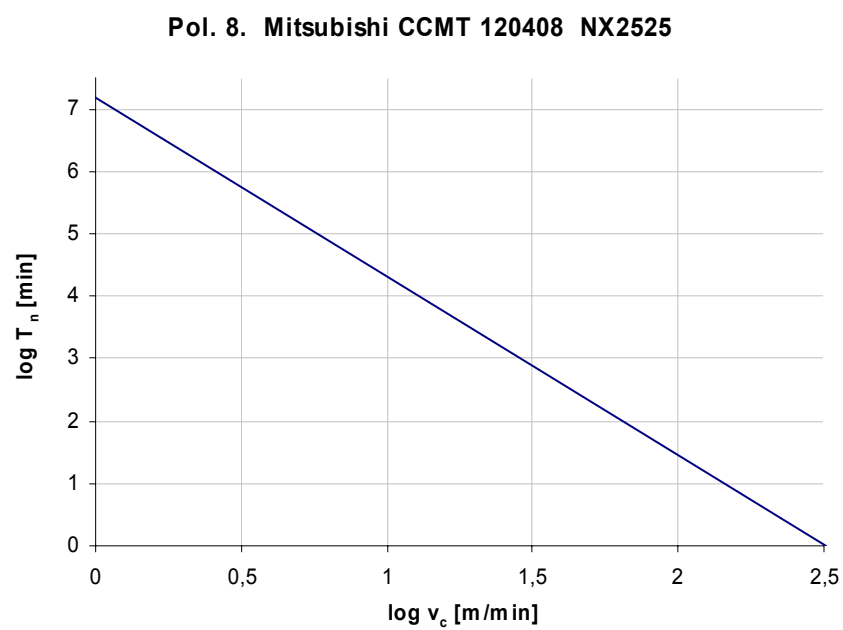
Graf.6 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



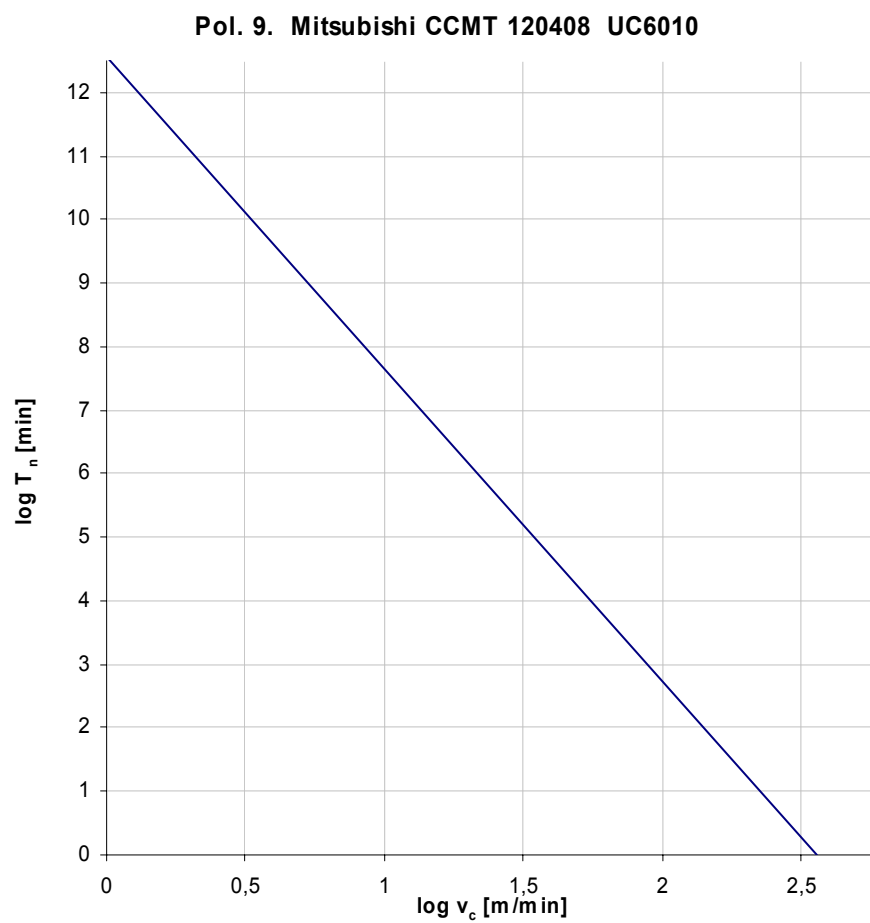
Graf.7 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



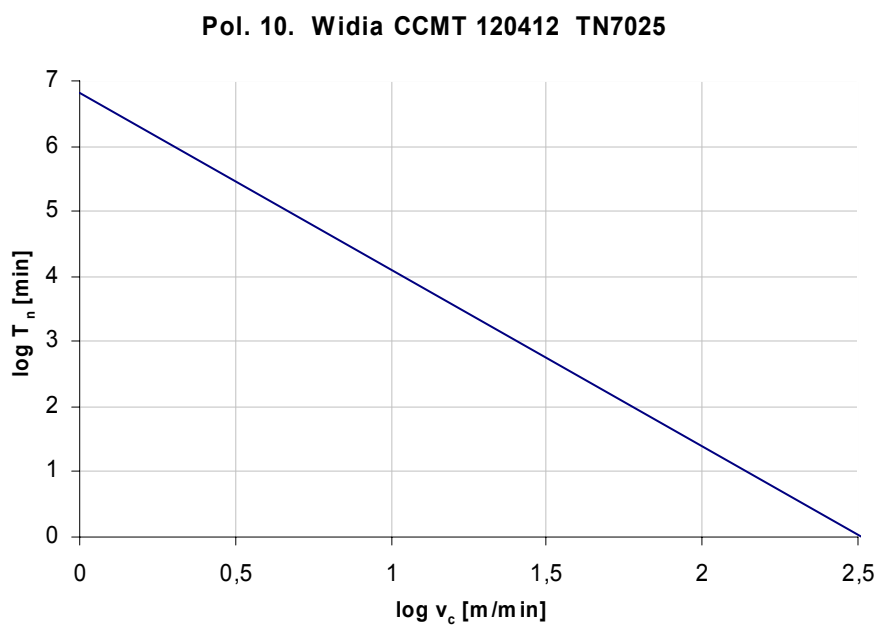
Graf.8 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



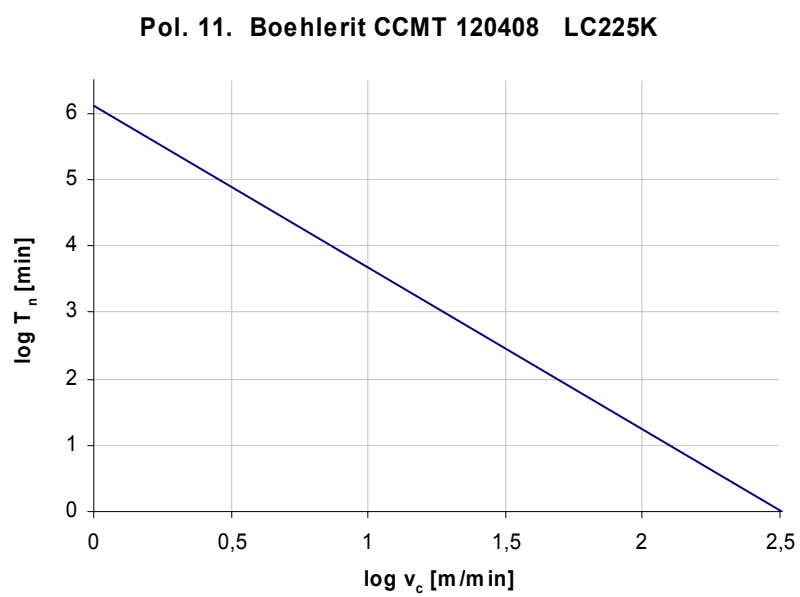
Graf.9 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti



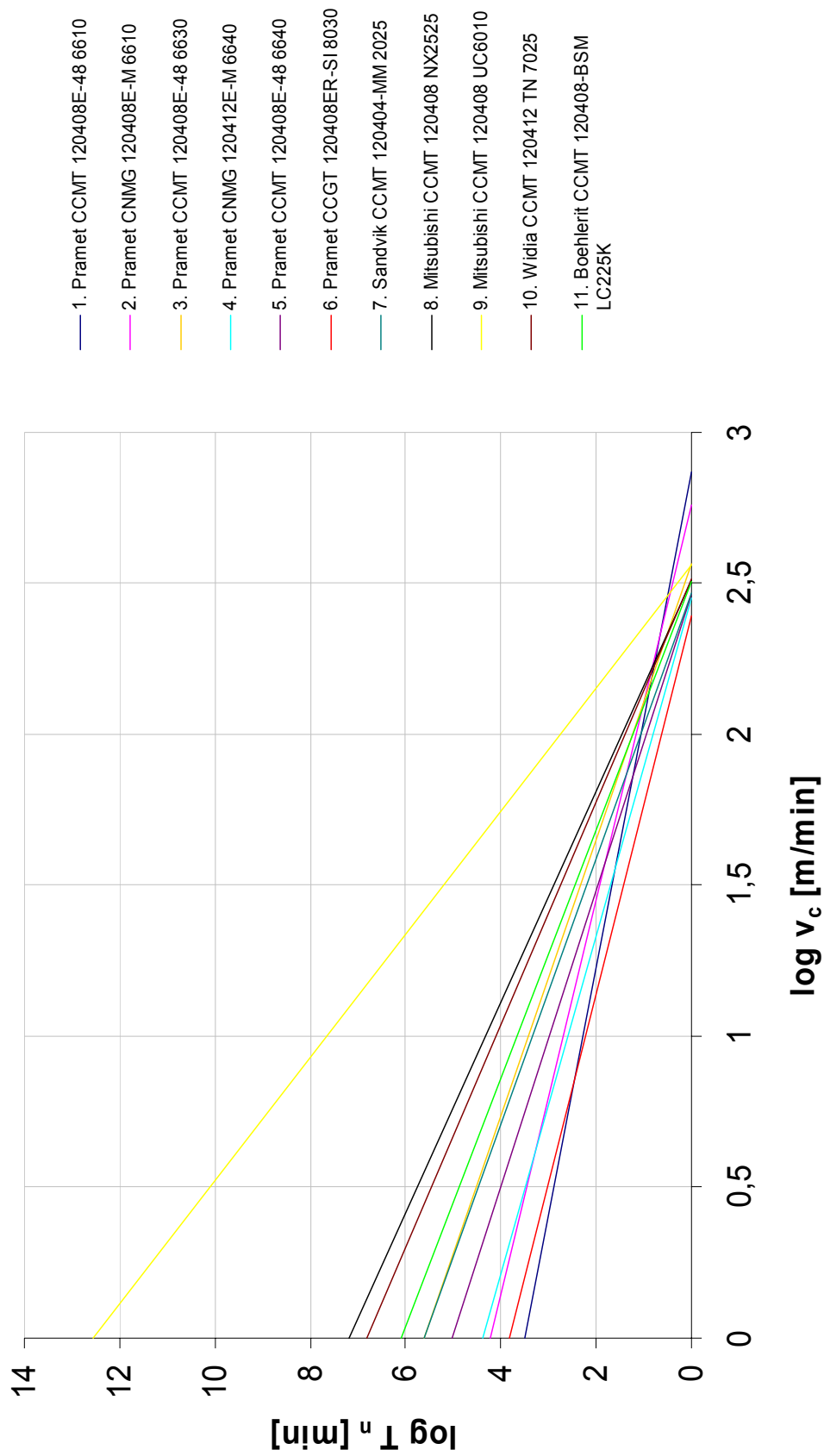
Graf.10 *Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti*



Graf.11 *Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti*



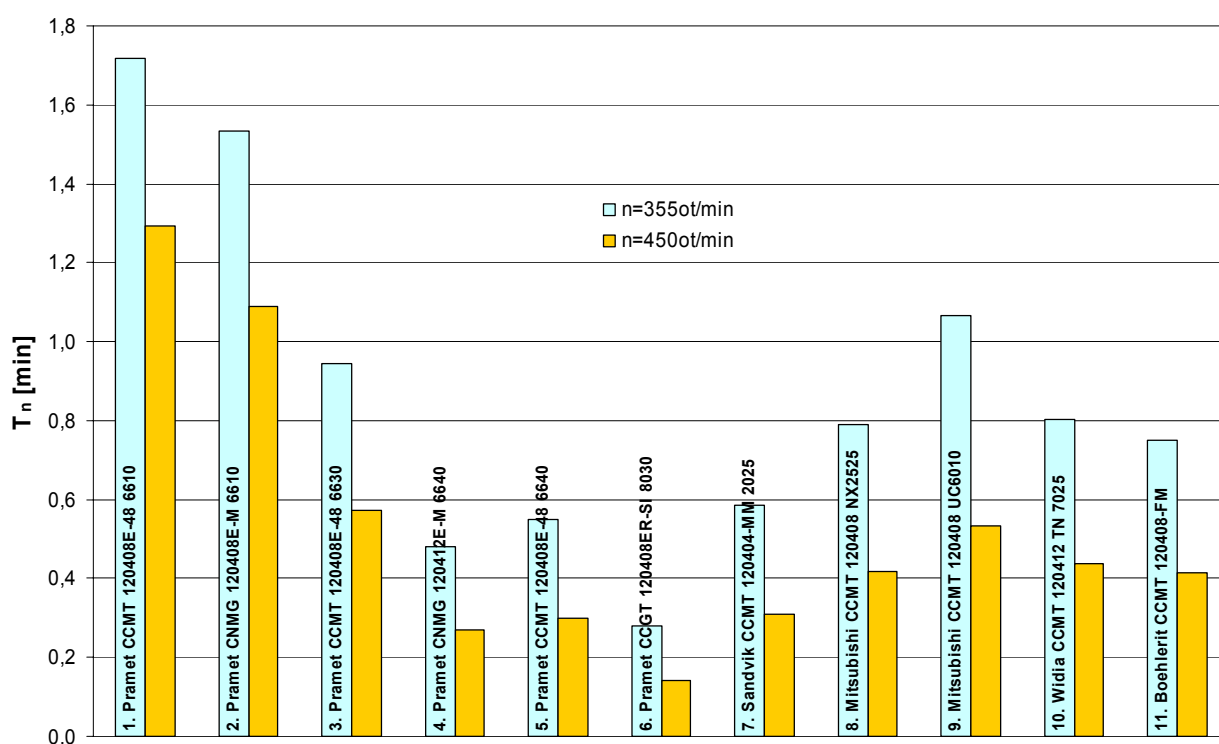
Graf.12 Graf závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti pro všechny typy břitových destiček



3.11 Porovnání řezivosti

Pro porovnávání řezivosti VBD mezi sebou, je nutné zvolit nějaký parametr, podle kterého se bude řezivost porovnávat. V případě tohoto experimentu bude nejvýhodnější zvolit za tento parametr čas T_n , což je čas trvanlivost jednoho břitu za zvolených řezných podmínek.

Graf.13 Graf trvanlivosti jednotlivých VBD



Z grafu můžeme vyčíst, že řezivost se při změně otáček nemění vzhledem k ostatním břitovým destičkám až na výjimku, kterou tvoří VBD pod položkou číslo 9 a 3. Při 355ot/min má větší řezivost břitová destička pod položkou 9 oproti položce 3, ale při 450ot/min má větší řezivost VBD položka 3 než 9. Toto mohlo vzniknout náhodnou chybou z různé řady příčin. Pro ověření, zda se jedná o fakt nebo o chybu, by bylo nutné provést větší počet měření.

Mezi břitové destičky s nejlepší řezivostí patří položka 1 a 2 od firmy Pramet. Oba dva materiály VBD jsou z materiálu 6610. S přihlédnutím k utváření třísky u těchto destiček lze říci, že položka 1 má mnohem příznivější tvoření třísky, což je při opracování velmi důležité. Dále lze konstatovat, že břitové destičky s nulovým úhlem hřbetu mají menší řezivost než

destičky s úhlem hřbetu 7°. Tohoto jevu si lze všimnout i u položky číslo 4 a 5, kde jsou stejné materiály VBD, ale rozdíl je právě v úhlu hřbetu. Položka číslo 4 má menší trvanlivost a současně nulový úhel hřbetu. Vhodnou destičkou pro polohrubování až dokončování by byla i destička od firmy Mitsubishi pod položkou 9.

Za jednu z možných příčin rozdílných řezivostí destiček z materiálů 6610 a 6640 od firmy Pramet je samozřejmě různý materiál ale i různé povlaky. U materiálu 6640 je to tenký povlak s nosnou vrstvou TiCN nanesený metodou MTCVD a u materiálu 6610 je to silný povlak s nosnou vrstvou Al₂O₃ nanesený metodou MTCVD. Toto bude mít hlavní vliv na větší řezivost materiálu 6610, zejména u břitové destičky s nulovým úhlem hřbetu, protože zde dochází k větším třením mezi hřbetem a obráběným materiálem, což klade vysoké nároky na použitý povlak

Mezi břitovou destičku s nejhorší řezivostí, která má více jak o 80% nižší řezivost než položka 1, je položka 6 s atypickým tvarem a materiálem 8030.

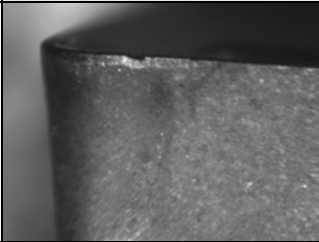
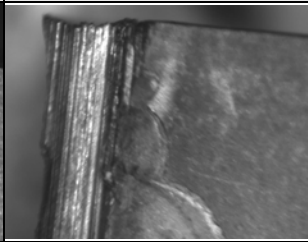
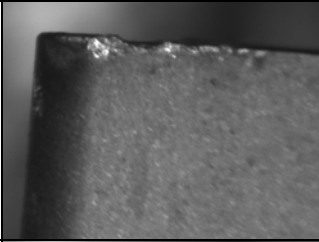
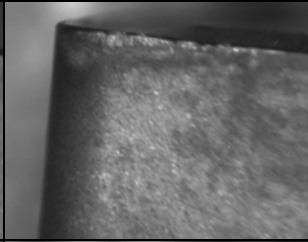
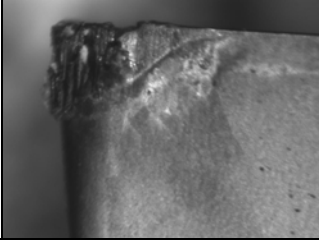
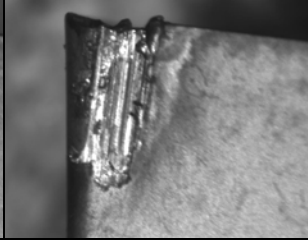
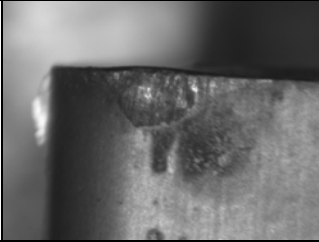
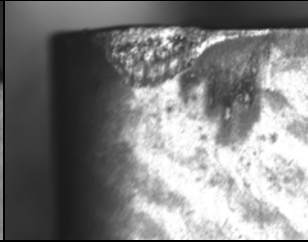
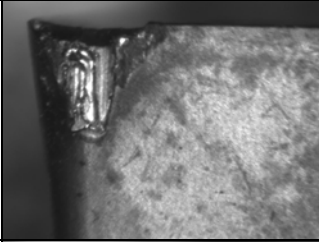
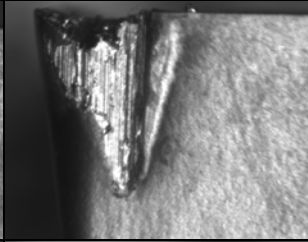
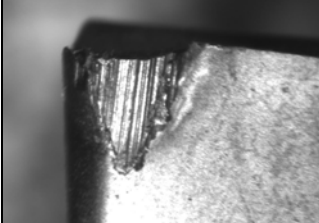
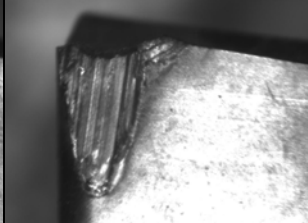
Pro lepší porovnávání řezivosti by bylo nejvhodnější provést zkoušky na různých jakostech obráběného materiálu anebo měnit velikosti posuvů či hloubky třísek.

3.12 Zkoumání opotřebení břitu

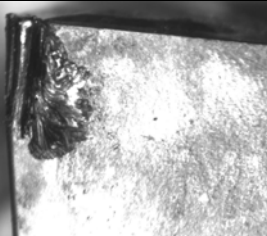
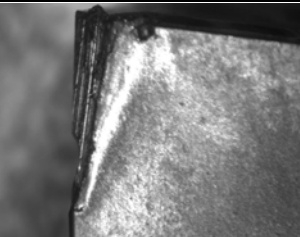
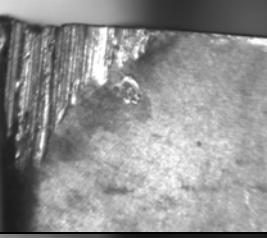
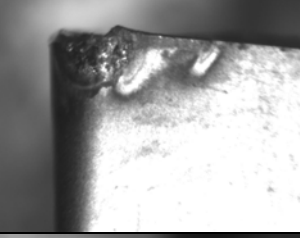
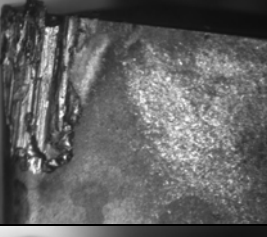
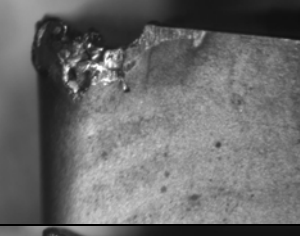
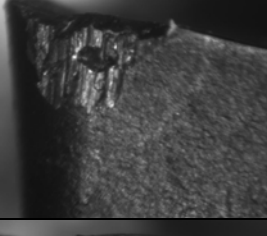
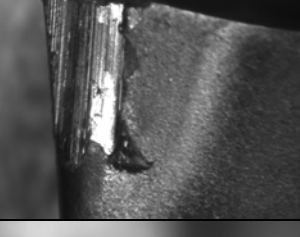


Zkoumání opotřebení břitu bylo provedeno na mikroskopu Intraco Micro se snímacím zařízením, které umožňuje vytvářet fotodokumentaci opotřebení břitu. Zvětšení u tohoto mikroskopu je možné dosáhnout až 10x. Pro tyto účely bylo využito zvětšení 3,2x, 4x, 5x. Zvětšení bylo voleno tak, aby bylo možné zachytit na fotodokumentaci opotřebení břitu v celém jeho rozměru.

Měření velikosti opotřebení břitu při tomto experimentu nemá rozsáhlejší význam a naměřené velikosti opotřebení by nepřinesly žádné bližší poznatky. Ověřování opotřebení břitu bylo provedeno pro bližší zjištění a určení typů opotřebení vzniklém při extrémním zatížení břitu, kterého bylo u tohoto experimentu dosaženo.

Obr.14 Tabulka s fotkami dosažených opotřebení při experimentu

Poř.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	DOSAŽENÉ OPOTŘEBENÍ PŘI 355ot/min	DOSAŽENÉ OPOTŘEBENÍ PŘI 450ot/min
1.	Pramet	CCMT 120408E	6610		
2.	Pramet	CNMG 120408E	6610		
3.	Pramet	CCMT 120408E	6630		
4.	Pramet	CNMG 120412E	6640		
5.	Pramet	CCMT 120408E	6640		
6.	Pramet	CCGT 120408ER	8030		

Tab.14 Tabulka s fotkami dosažených opotřebení při experimentu

Pol.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	DOSAŽENÉ OPOTŘEBENÍ PŘI 355ot/min	DOSAŽENÉ OPOTŘEBENÍ PŘI 450ot/min
7.	Sandvik	CCMT 120404	2025		
8.	Mitsubishi	CCMT 120408	NX2525		
9.	Mitsubishi	CCMT 120408	UC6010		
10.	Widia	CCMT 120412	TN 7025		
11.	Boehlerit	CCMT 120408	LC225T		

Velikost otupení, kterou je možno vidět na přiložených obrázcích, je převážně ovlivněna díky dosáhlé vysoké řezné rychlosti. Cílem zkoušky bylo dosáhnout úplného opotřebení, čili opotřebení takového, po kterém už břit není schopen ani z minimální části konat svou úlohu. Na fotografiích je zachyceno hlavní ostří a rádius špičky pohledem z boční strany. Při takovém extrémním zatížení břitu došlo k velkému počtu druhů opotřebení VBD. Na fotografiích jsou vidět nárůstky a vysoké opotřebení hřbetu, což má právě za následek dosažená vysoká řezná rychlost. Dále se zde objevují také plastické deformace špičky

a v některých případech i destrukce břitu respektive špičky. Z tohoto lze vyvodit, že bylo dosaženo potřebného opotřebení VBD pro experiment.

4. Diskuze a vyhodnocení experimentů

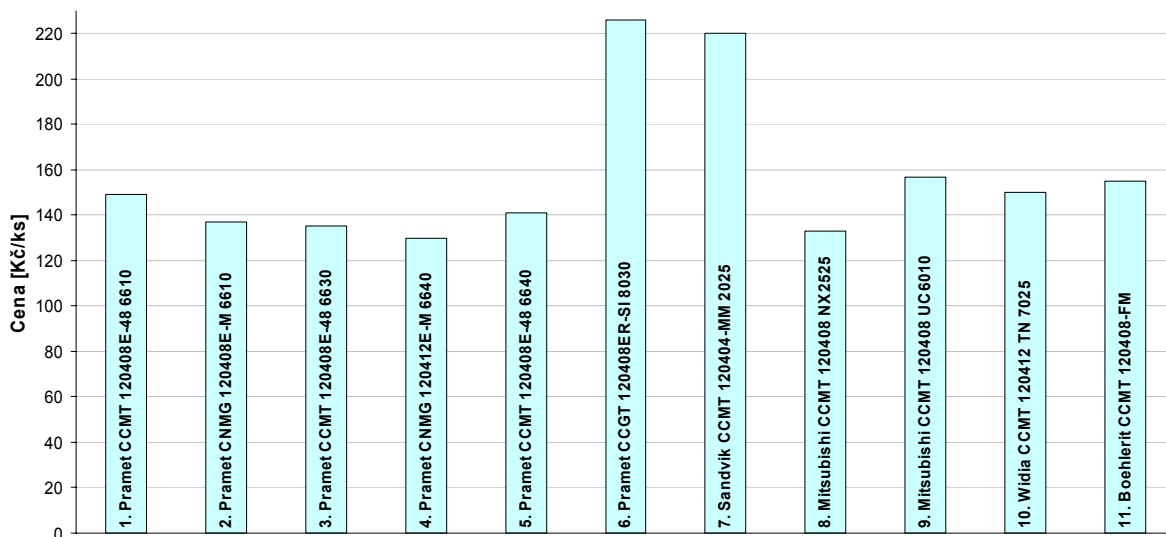
Tab.15 Tabulka řezných parametrů doporučené výrobcem

Pol.	VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL VBD	v_c [m/min]	v_{15} [m/min]	f_n [mm]	a_p [mm]
1.	Pramet	CCMT 120408E-48	6610	180-265	81	0,2-0,6	1,0-8,0
2.	Pramet	CNMG 120408E-M	6610	230-350	99	0,15-0,6	0,8-6,0
3.	Pramet	CCMT 120408E-48	6630	100-205	107	0,2-0,6	1,0-6,0
4.	Pramet	CNMG 120412E-M	6640	175-295	63	0,17-0,4	1,2-5,0
5.	Pramet	CCMT 120408E-48	6640	85-175	78	0,2-0,6	1,0-8,0
6.	Pramet	CCGT 120408ER-SI	8030	125-185	46	0,2-0,44	1,0-4,0
7.	Sandvik	CCMT 120404-MM	2025	215-265	90	0,09-0,27	0,3-3,6
8.	Mitsubishi	CCMT 120408	NX2525	140-200	126	0,05-0,2	0,5-2,0
9.	Mitsubishi	CCMT 120408	UC6010	150-250	209	0,1-0,25	0,5-3,0
10.	Widia	CCMT 120412	TN 7025	180-310	121	0,12-0,4	0,7-5,0
11.	Boehlerit	CCMT 120408-FM	LC225T	150-350	106	0,1-0,6	0,8-6,0

Hodnoty v_{15} v tabulce 15 jsou řezné rychlosti pro trvanlivost 15 minut, odečtené z grafů číslo 1-11. Při dané řezné rychlosti by měla být trvanlivost VBD 15 minut. Pokud porovnáme řezné rychlosti v_c doporučené výrobcem, lze si všimnout výrazných rozdílů. Výrobce udává řezné podmínky pro materiál s tvrdosti 180HB a pro obrobitelnosti 14b. Právě toto je hlavním důsledkem rozdílů v řezných rychlostech, protože materiál použitý k experimentu má tvrdost 280HB a obrobitelnost 10b. V praxi se pro obtížněji obrobitelné materiály používají při konvenčním obrábění destičky ze slinutých karbidů řezné rychlosti okolo 100m/min. Proto lze naměřené výsledky považovat za relativně správné. Dalším důsledkem rozdílů mohly být náhodné vzniklé chyby při měření.

5. Technicko – ekonomické zhodnocení

Graf.14 Ceny vyměnitelných břitových destiček



Při porovnání cen si lze všimnout dvou typů destiček, které jsou výrazně dražší. Jedná se o položku číslo 6 od firmy Pramet a o položku 7 firmy Sandvik. Položka 6 má nejvyšší řezivost a zároveň disponuje nejvyššími pořizovacími náklady, proto bylo navrženo nepoužívat tuto VBD pro materiály s horší obrobiteľností a nepoužívat vyšší řezné rychlosti. Firmě bylo navrženo pokusit se nalézt konkrétní využití při opracování touto VBD, pokud tak firma neučiní, je doporučeno stáhnout destičku z jejich sortimentu. Destička od firmy Sandvik, také není představitelem uspokojivé trvanlivosti vzhledem k pořizovací ceně. Tato VBD by měla hledat uplatnění spíše při opracování nerezů jak doporučuje výrobce.

Pořizovací náklady ostatních VBD se již příliš neliší. Cenově nejvýhodnější se jeví vzhledem k řezivosti položka 1 a 2. Břitové destičky pod položkami 3 a 9 se rovněž řadí mezi destičky s relativně dobrou řezivostí a příznivými pořizovacími náklady.

Náklady na vyměnitelné břitové destičky pro experiment byly spočítány na 5 199,-Kč. Pořizovací náklady na obráběný materiál nejsou přesně zjištěny, jelikož materiál byl vlastnictvím katedry již několik let a nebylo možné cenu dohledat. Současné ceny materiálu jakosti 42CrMo4 se pohybují okolo 36,-Kč/kg. Z toho vyplývá, že pořizovací cena materiálu by činila 4 350,-Kč. Celkové náklady na experiment bez energií a pracovní síly byly stanoveny na 9 545,-Kč.

6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vybrat vyměnitelné břitové destičky používané ze sortimentu VBD určené pro polohrubovací a dokončovací operace a porovnat jejich řezivost a sestrojit závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti. Bylo vybráno 11 typů destiček od pěti různých výrobců (Pramet, Sandvik, Boehlerit, Widia a Mitsubishi), liší se v materiálech a geometrii. U geometrie se jednalo o rozdíly ve velikosti rádiusu špičky, úhlu hřbetu a ve tvarech utvářeče. Destičky měly tvar kosočtverce s vrcholovým úhlem 80° , s kvadrátem 12,7mm o tloušťce 4,76mm.

Pro testování řezivosti destiček bylo nutné vybrat krátkodobou zkoušku z důvodu menší časové náročnosti a také s ohledem na vzniklou finanční náročnost experimentu na obráběný materiál při volbě dlouhodobé zkoušky. Proto byla vybrána krátkodobá zkouška čelní také s ohledem na to, že se jedná o zkoušky VBD určené pro soustružení.

Jako vhodný obráběcí stroj byl zvolen soustruh SU 50A, který svými možnostmi plně vyhovoval potřebám experimentu. Pro experiment byl vybrán materiál o jakosti 15 142, který disponuje obrobitelností 10b a tvrdostí 280HB. Tyto vlastnosti materiálu dodaly zkoušeným VBD náročnější podmínky pro obrábění.

Z naměřených hodnot se vypočetly trvanlivosti T_{n1} a T_{n2} břitových destiček při opracování čela obrobku za řezných podmínek $n_1=355\text{ot/min}$ a $n_2=450\text{ot/min}$, hloubka řezu $a_p=1,2\text{mm}$ a posuv $f_n=0,2\text{mm}$ byly konstantními hodnotami. Jako kritérium pro porovnávání řezivosti byla zvolena trvanlivost VBD.

Při porovnávání bylo zjištěno, že nejlepší řezivosti disponují dvě VBD od firmy Pramet z materiálu 6610 s označením CCMT 120408E-48 a CNMG 120408E-M. Výhodou těchto břitových destiček je také jejich příznivá pořizovací cena.

Použitá literatura:

- [1] O. BILÍK, *Obrábění II – 1.díl Fyzikálně mechanické zákonitosti procesu obrábění*, Ostrava 1994. ISBN 80 -7078 – 962 – X
- [2] NESLUŠAN Miroslav; TUREK Stanislav; BRYCHTA Josef; ČEP Robert; TABAČEK Marián. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*, Žilina : EDIS Žilina, 2007. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [3] Jan MÁDL, *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*, Praha 1985. Ediční středisko ČVUT
- [4] Jaroslav PROKOP, Karel KOČMAN, *Technologie obrábění*, Brno 2001, ISBN 80-214-1996-2
- [5] Zdeněk PŘIKRYL, *Nauka o obrábění*, Praha 1959
- [6] Katalog, *Soustružení firmy Pramet*, 2008
- [7] Katalog, *General catalogue Mitsubishi, Turning tools*, 2007-2009
- [8] Hlavní katalog, *Sandvik Coromant, řezné nástroje*, 2009
- [9] Katalog, *Widia of product of kennametal*
- [10] Katalog, *Boehlerit*
- [11] R. ČEP, *Přednášky – Technologie II*
- [12] STEPHENSON, D.A., AGAPIOU, J.S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. 898 s. ISBN 0-8247-9579-2.

Poděkování:

Rád bych vyjádřil poděkování především vedoucímu skladu firmy Č.V. PROTOTYP panu Janu Ertlovi, který byl velmi nápomocen při výběru VBD. Velké dík patří také vedení firmy, která dalo možnost a prostor pro experiment. Také chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Robertovi Čepovi Ph.D za odborné rady a trpělivost.